

# SCHRIFTENREIHE ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT

*Dezember 2014*

*Analyse*

## Zur Interpretation von Energieszenarien

Christian Dieckhoff | Hans-Jürgen Appelrath | Manfred Fishedick

Armin Grunwald | Felix Höfler | Christoph Mayer | Wolfgang Weimer-Jehle

„Energiesysteme der Zukunft“ ist ein Projekt von:

**Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina**

**acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften**

**Union der deutschen Akademien der Wissenschaften**

## Impressum

### Autoren

Christian Dieckhoff  
Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Dr. Hans-Jürgen Appelrath  
Universität Oldenburg

Prof. Dr. Manfred Fischedick  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Prof. Dr. Armin Grunwald  
Karlsruher Institut für Technologie

Prof. Dr. Felix Höffler  
Universität zu Köln

Dr. Christoph Mayer  
OFFIS – Institut für Informatik

Dr. Wolfgang Weimer-Jehle  
Universität Stuttgart

### Reihenherausgeber

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung)  
Residenz München, Hofgartenstraße 2, 80539 München | [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –  
Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale) | [www.leopoldina.org](http://www.leopoldina.org)

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.  
Geschwister-Scholl-Straße 2, 55131 Mainz | [www.akademienunion.de](http://www.akademienunion.de)

### Empfohlene Zitierweise

Dieckhoff, Christian et al.: *Zur Interpretation von Energieszenarien* (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2014.

### Redaktion/Koordination

Selina Byfield, acatech  
Dr. Achim Eberspächer, acatech

### Gestaltung und Satz

unicommunication.de, Berlin

### Druck

koenigsdruck.de

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Printed in EC

**Stand:** Mai 2014

**ISBN:** 978-3-9817048-1-5

### Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

### Das Akademienprojekt

Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ erarbeitet Stellungnahmen und Analysen zur Gestaltung der Energiewende. Stellungnahmen enthalten Handlungsoptionen für die Transformation des Energiesystems und werden nach externer Begutachtung vom Kuratorium des Akademienprojekts verabschiedet. Analysen sind Ergebnisberichte von Arbeitsgruppen. Die inhaltliche Verantwortung für Analysen liegt bei den Autoren. Sofern eine Analyse Bewertungen enthält, geben diese die persönliche Meinung der Autoren wieder.



Leopoldina  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften







## Inhalt

Zusammenfassung.....	4
1. Einführung und Zielsetzung.....	6
2. Was sind Energieszenarien? .....	9
2.1 Szenarien als Möglichkeitsaussagen – Definitionen und Verortungen.....	9
2.2 Was heißt „möglich“?.....	10
2.3 Szenarien als Ausschnitte von Möglichkeitsräumen .....	12
2.4 Explorative Szenarien und Zielszenarien .....	15
2.5 Hypothetische, verifizierte und falsifizierte Möglichkeiten.....	17
2.6 Unterschied zu deterministischen Prognosen und Wahrscheinlichkeitsprognosen ...	19
2.7 Modelle als Grundlage von Szenarien.....	19
2.8 Möglichkeitsaussagen in einer Energieszenariostudie .....	21
3. Was darf man von Energieszenarien erwarten?.....	28
3.1 Formulierung von neuen Möglichkeitshypothesen.....	28
3.2 Strategiebildung und interne Kommunikation .....	29
3.3 Diskursive Funktion .....	29
3.4 Integrationsfunktion.....	30
3.5 Nachweis der (Un-)Möglichkeit zukünftiger Entwicklungen .....	31
3.6 Effektbestimmung von Maßnahmen.....	33
3.7 Identifikation robuster Entwicklungen und Maßnahmen .....	33
4. Fazit .....	36
Literatur .....	38
Über das Akademienprojekt.....	42

## Zusammenfassung

1. Dieses Diskussionspapier bietet Nutzern von Energieszenarien eine Hilfestellung für deren Interpretation. Energieszenarien spielen in der gegenwärtigen energiepolitischen Diskussion im Rahmen der „Energiewende“ eine wichtige Rolle. Sie sollen Entscheidungen unterstützen und Orientierung bieten. Ihre Vielzahl, Heterogenität und teilweise auch die Intransparenz hinsichtlich der getroffenen Annahmen und Modellstruktur erschweren jedoch ihr Verständnis und ihre angemessene Verwendung.
2. Szenarien können bei richtiger Interpretation vielfachen Nutzen stiften:
  - Sie können zeigen, dass oder unter welchen Umständen gewünschte oder befürchtete zukünftige Entwicklungen eintreffen könnten.
  - Sie dienen als Mittel, um über die Energiezukunft zu diskutieren.
  - Sie können Sichtweisen aus vielen Disziplinen und von vielen Akteuren integrieren.
  - Sie können helfen, politische Handlungsalternativen zu bewerten.
3. Mit Szenarien können Wissensbestände und Überzeugungen unterschiedlicher Akteure integriert werden. Insbesondere können Szenarien ein wichtiges Medium der gesellschaftlichen Aushandlung über gewünschte zukünftige Entwicklungen sein und Handlungsoptionen aufzeigen. Eine breite Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Erstellung von Szenarien und ihre transparente Darstellung sind wichtige Voraussetzungen hierfür.
4. Ein Szenario beschreibt eine aus heutigem Wissen für möglich gehaltene zukünftige Entwicklung. Da sich das Wissen verändert, können bisher als unmöglich eingeschätzte zukünftige Entwicklungen möglich werden und umgekehrt.
5. Szenarien sind weder deterministische Prognosen noch Wahrscheinlichkeitsprognosen. Mit einer deterministischen Prognose wird behauptet, dass etwas mit Sicherheit der Fall sein wird. Eine Wahrscheinlichkeitsprognose drückt aus, dass etwas mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit der Fall sein wird.
6. Der Möglichkeitsraum des zukünftigen Energiesystems ist zu groß und hochdimensional, um vollständig dargestellt werden zu können. Ein Szenario beschreibt nur einen spezifischen Zukunftspfad und stellt damit einen Ausschnitt aus dem Möglichkeitsraum dar.
7. In Szenarioanalysen besteht eine Schwierigkeit in der gut begründeten Auswahl der betrachteten Szenarien. Eine Strategie zur Fokussierung ist die Erstellung „explorativer Szenarien“. Ausgehend von der Gegenwart werden hierbei mögliche Entwicklungen ergebnisoffen identifiziert. Eine andere Strategie besteht in der Formulierung von „Zielszenarien“. Hierbei werden nur solche Szenarien betrachtet, die bestimmte normative Kriterien – etwa die Erreichung eines bestimmten Ziels – erfüllen.

8. Szenarien von komplexen Systemen wie dem Energiesystem werden meist mit Computermodellen berechnet. Hierfür müssen Rahmenannahmen für alle exogenen Größen des Modells getroffen werden. Für jedes Szenario müssen diese Annahmen konsistent mit dem relevanten Wissen sein. Nur wenn diese Anforderung erfüllt ist und auch das Modell eine hinreichend konsistente Repräsentation des realen Systems ist, stellen die berechneten Szenarien mögliche Zukunftspfade dar.
9. Wenn-dann-Aussagen sind eine entscheidende Grundlage von Szenarien, indem mit ihnen insbesondere die Wechselwirkungen im betrachteten System beschrieben werden. Auch die Schlussfolgerung in einem Szenario kann als Wenn-dann-Aussage formuliert werden, etwa wenn die Abhängigkeit einer zukünftigen Entwicklung von einer Maßnahme ausgedrückt werden soll. Dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn der Adressat des Szenarios das Eintreten und damit die Unsicherheit des Wenn-Teils beurteilen kann.
10. Ein Anwendungsbereich von Szenarien ist die Analyse von Effekten einer bestimmten (politischen) Handlung, ein anderer die Identifikation robuster Entwicklungen. Dies geschieht zum Teil auch durch den Vergleich verschiedener Szenariostudien (Metaanalyse). Jedoch fehlen derzeit noch Kriterien, um Robustheit zu beurteilen, da selbst eine Fülle von Szenarien den Möglichkeitsraum nur unvollständig abdeckt.

## 1. Einführung und Zielsetzung

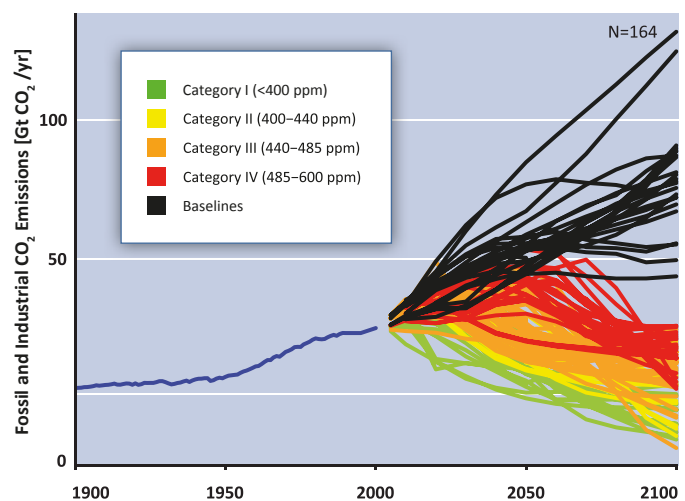
Szenarien haben sich in vielen Bereichen als Standardkonzept für das systematische „Nachdenken über die Zukunft“ etabliert. Besonders häufig sind sie dort anzutreffen, wo ein Bedarf nach Orientierung (weil Problemstellungen von übergreifender, gesellschaftlicher Bedeutung sind) sowie große Unsicherheiten über die Ausprägung wesentlicher Einflussgrößen bestehen und es unterschiedliches Wissen, verschiedene Meinungen und Ansichten zu integrieren gilt.

All das trifft auf die zukünftige Energieversorgung zu. So sind Entscheidungen zur Ausgestaltung des Energiesystems mit weit in die Zukunft reichenden Festlegungen sowie erheblichen ökonomischen, ökologischen und sozialen Konsequenzen verbunden. Dies betrifft nicht nur Entscheidungen über die Erforschung und Entwicklung neuer Technologien, sondern gerade auch Entscheidungen über den Ausbau konkreter Technologien wie etwa die Errichtung bestimmter Kraftwerke. Schließlich geht es dabei nicht nur um Investitionen, die sich erst nach Jahrzehnten amortisieren, sondern unter Umständen auch um langfristige Konsequenzen, die weit über die Betriebsdauer der Anlage hinausreichen – man denke etwa an die Lagerung des radioaktiven Abfalls aus Kernkraftwerken.

Vor diesem Hintergrund sind Energieszenarien zu einem zentralen Element der gesellschaftlichen Auseinandersetzung über die Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung gewor-

den. Sie werden jährlich in großer Zahl veröffentlicht, meist als Gutachten, die von wissenschaftlichen Instituten im Auftrag staatlicher Institutionen, Unternehmen oder zivilgesellschaftlicher Organisationen erstellt werden. Abbildung 1 illustriert die Unterschiedlichkeit und Bandbreite verfügbarer Energieszenarien anhand der in ihnen berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionsverläufe.

Weltweit hat sich seit den 1970er Jahren eine eigene wissenschaftliche Gemeinschaft gebildet, die mithilfe unterschiedlicher Methoden – meist basierend auf Computermodellen und Simulationen – Energieszenarien zu unterschiedlichen Teilsystemen, geografischen Bezugsräumen und Zeithorizonten generiert. Aber nicht nur wissenschaftliche Einrichtungen, sondern auch andere Organisationen erstellen Energieszenarien, man denke



**Abbildung 1:** Historic global fossil and industrial CO<sub>2</sub> emissions and projections from 164 long-term scenarios. Colour coding is based on categories of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in 2100 as defined in the IPCC AR4, WGIII (Fisher et al., 2007), with historic emission data from Nakićenović et al. (2006). Figure and data adapted from Krey and Clarke (2011), modified to include two additional scenarios.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IPCC 2012, S. 802, Figure 10.1.



etwa an die bekannten Szenarien der Royal Dutch Shell.<sup>2</sup>

Energieszenarien werden zu unterschiedlichen Zwecken veröffentlicht und an unterschiedlichen Stellen in der Gesellschaft rezipiert und verwendet. Einerseits sollen sie das verfügbare Wissen über bestimmte Aspekte von Energiesystemen erfassen sowie die dabei bestehenden Unsicherheiten und Handlungsoptionen in Form alternativer zukünftiger Entwicklungen beschreiben. Hier wird mit ihnen vor allem die Hoffnung verbunden, auf ihrer Grundlage rationale, reflektierte oder doch zumindest gut informierte Entscheidungen treffen zu können. Andererseits transportieren Energieszenarien auch politische Zielsetzungen und Möglichkeiten ihrer Erreichung, Weltanschauungen sowie sonstige normative Überzeugungen. Durch die Veröffentlichung der Szenarien werden diese zumindest teilweise für eine kritische Auseinandersetzung zugänglich gemacht. Gerade durch ihre Vielgestaltigkeit können Energieszenarien so zu einem wichtigen Medium der gesellschaftlichen Aushandlung über die Gestaltung der zukünftigen Energieversorgung werden.

Energieszenarien stellen ihre Rezipienten und Nutzer aber auch vor große Herausforderungen. Um sich Orientierung und Überblick zu verschaffen, ist es zunächst einmal nötig, die vielfältigen vorliegenden Gutachten zu erfassen und zu systematisieren. Dies setzt wiederum voraus, dass Rezipienten und Nutzer die Energieszenarien und insbesondere ihre methodischen Hintergründe verstehen und Unterschiede erkennen können. Das wird dadurch erschwert, dass wichtige Bestandteile der Szenarien, wie etwa die verwendeten Modelle und Annahmen, oft nur unzureichend transparent sind und die argumentative Struktur der Gutachten oft unklar bleibt.

Zwar existiert eine ganze Reihe von Veröffentlichungen, die hier bereits wichtige Hilfestellungen leisten. So sind insbesondere der englischsprachige Leitfaden von Mai et al.<sup>3</sup>, der in die Grundlagen der Energiemodellierung und deren zentrale Begriffe und Methoden einführt, sowie die Typologie etablierter Szenariotechniken von Börjeson et al.<sup>4</sup> zu nennen. Auch haben in Deutschland in der Vergangenheit eine Reihe von Vergleichsrechnungen mit Energiemodellen mit dem Ziel stattgefunden, Modelltypologien zu entwickeln und die Unterschiede in den Ergebnissen verschiedener Modelle aufzuklären.<sup>5</sup> Grobe Systematisierungen der Vielfalt aktueller vorwiegend deutschsprachiger Energieszenariostudien liefern die Datenbank des „Forschungsraders Erneuerbare Energien“<sup>6</sup> der Agentur für Erneuerbare Energien und der „Studienlotse“<sup>7</sup> der Deutschen Energie-Agentur. Daneben liegt eine ganze Reihe vergleichender Analysen aktueller Energieszenariostudien vor.<sup>8</sup>

Diesen Beiträgen ist jedoch gemein, dass sie sich weitgehend auf das deskriptive Erfassen und Vergleichen der Szenarien beschränken oder in erster Linie in der Sichtweise desjenigen verbleiben, der die Studien erstellt. Was fehlt, ist ein Interpretationsrahmen, mit dessen Hilfe Energieszenarien „von außen“, also insbesondere aus Sicht des Rezipienten, erschlossen werden können. Es fehlt also ein Rahmen, der nicht nur das Verstehen der Studien erleichtert und auch den

<sup>3</sup> Mai et al. 2013.

<sup>4</sup> Börjeson et al. 2006.

<sup>5</sup> Zwischen 1998 und 2005 wurden fünf sogenannte Modellexperimente am hierfür eingerichteten Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland durchgeführt, in denen mit unterschiedlichen Energiemodellen Vergleichsrechnungen durchgeführt wurden. Das letzte der Experimente ist etwa dokumentiert in FORUM 2007. Etwas Vergleichbares existiert auf internationaler Ebene mit dem Energy Modeling Forum, das von der Stanford University betrieben wird.

<sup>6</sup> Agentur für Erneuerbare Energien 2014.

<sup>7</sup> Deutsche Energie-Agentur 2014.

<sup>8</sup> Zum Beispiel Droste-Franke et al. 2012, S. 37 ff; Fischedick et al. 2012; Pahle et al. 2012.

<sup>2</sup> Van der Heijden 2005.

Blick für Lücken in ihrer Argumentation schärft – etwa indem er die Identifikation impliziter Annahmen ermöglicht –, sondern auch die Verortung der Szenarien zueinander und letztlich ihre Beurteilung hinsichtlich ihrer Relevanz und Validität erlaubt.

Dieses Diskussionspapier soll einen Beitrag zur Entwicklung eines solchen Interpretationsrahmens leisten, indem dieser in seinen Grundzügen umrissen und anhand von Beispielen illustriert wird. Unser Ziel ist dabei, nicht nur auf die Grenzen von Energieszenarien aufmerksam zu machen, sondern auch die Möglichkeiten ihres sinnvollen Einsatzes darzustellen. Zwar konzentriert sich der Text auf Energieszenarien, gleichwohl wird ein analytischer Rahmen entwickelt, der auch auf Szenarien in anderen thematischen Bereichen angewendet werden kann. Der Text richtet sich in erster Linie an Rezipienten und Nutzer von Energieszenarien und damit beispielsweise an Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft, an die Medien und generell an die interessierte Öffentlichkeit, aber auch an diejenigen, die an der Erstellung von Energieszenarien arbeiten.

- Energieszenarien spielen in der gegenwärtigen energiepolitischen Diskussion im Rahmen der „Energiewende“ eine wichtige Rolle. Sie sollen Entscheidungen unterstützen und Orientierung bieten.
- Ihre Vielzahl, Heterogenität und teilweise auch ihre Intransparenz erschweren jedoch ihr Verständnis und ihre angemessene Verwendung.
- Dieses Diskussionspapier bietet Rezipienten und Nutzern von Energieszenarien eine Hilfestellung für deren Interpretation.

## 2. Was sind Energieszenarien?

### 2.1 Szenarien als Möglichkeitsaussagen – Definitionen und Verortungen

Um systematisch über die Zukunft nachdenken sowie Vorstellungen über sie strukturiert entwickeln und artikulieren zu können, hat sich eine Reihe von Konzepten herausgebildet.<sup>9</sup> Die Formulierung und Analyse von Szenarien stellt eines dieser Konzepte dar. Als sein Ursprung werden meist die Arbeiten Herman Kahns genannt, der seit den frühen 1960er Jahren Szenarien zu militärisch-strategischen Fragen entwickelte (vgl. Abschnitt 3.1). Einzug in das Nachdenken und Entscheiden über *energiestrategische* und *energiepolitische* Fragen erhielten Szenarien in den 1970er Jahren. So erschien etwa 1972 die breit rezipierte Studie „Grenzen des Wachstums“<sup>10</sup> des Club of Rome, in der die katastrophalen Folgen eines ungezügelten Wachstums – unter anderem in Form des Verbrauchs von Energierohstoffen – analysiert wurden. Zur gleichen Zeit begannen auch privatwirtschaftliche Unternehmen damit, Szenarien zu entwickeln. Gut dokumentiert ist dies vor allem für die Royal Dutch Shell, deren Methodik prägend für den Einsatz von Szenarien im Unternehmensbereich ist (vgl. Abschnitt 3.2).

Die Grenzen zwischen Szenarien, Prognosen, Visionen oder auch Roadmaps sind zwar fließend und auch der Begriff

des Szenarios selbst wird nicht einheitlich verwendet. Im Kern lassen sich Szenarien jedoch dadurch charakterisieren, dass mit ihnen die Zukunft gleichzeitig als *analysierbar*, *unsicher* und zumindest in Teilen *gestaltbar* begriffen wird.<sup>11</sup> Synonym zum Begriff „Szenario“ wird gelegentlich auch die Bezeichnung „Projektion“ verwendet, etwa im „World Energy Outlook 2013“.<sup>12</sup>

Das sprachliche Mittel, mit dem in Szenarien üblicherweise versucht wird, Unsicherheiten und Gestaltbarkeit sichtbar zu machen, sind Möglichkeitsaussagen. Gerade im Energiebereich wird außerdem angenommen, dass die Zukunft mit wissenschaftlichen Mitteln – insbesondere mit Computermodellen – zumindest teilweise systematisch analysierbar ist. Daher basieren die meisten Energieszenarien im Kern auf Computerechnungen. In manchen Fällen werden diese von qualitativen Beschreibungen – meist „Storylines“ oder „Narrationen“ genannt – flankiert. Dieses Vorgehen, das auch als Story-And-Simulation (SAS) Approach bezeichnet wird, wird gerade in jüngerer Zeit verstärkt verfolgt und weiterentwickelt.<sup>13</sup> So kommt es etwa bei der Entwicklung der Emissionsszenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)<sup>14</sup> zum Einsatz.

Szenarien können ganz unterschiedlich dargestellt werden. Sie umfassen nicht nur Texte, sondern auch Tabellen, Diagramme und Grafiken. Auch

<sup>9</sup> Übergreifend lassen sich Beschreibungen zukünftiger Entwicklungen von Wissenschaft und Technik im gesellschaftlichen Kontext als „Technikzukünfte“ bezeichnen und analysieren. Energieszenarien stellen eine Untergruppe solcher Technikzukünfte dar. Eine allgemeine Einführung in das Vorausdenken, Erstellen und Bewerten von Technikzukünften liefert acatech 2012.

<sup>10</sup> Meadows et al. 1972.

<sup>11</sup> In Anlehnung an Kosow/Gaßner 2008.

<sup>12</sup> IEA 2013.

<sup>13</sup> Vgl. Alcamo 2008; Weimer-Jehle et al. 2013.

<sup>14</sup> Nakićenović/Swart 2000.

künstlerische Mittel wie literarische Erzählungen, Illustrationen oder Filme sind möglich.<sup>15</sup>

Für die nachfolgende Analyse werden diese Definitionen getroffen:

- Ein *Szenario* ist ein sprachliches Gebilde, das als Aussagensystem rekonstruiert werden kann. In einem Szenario wird ausgedrückt, dass ein bestimmter zukünftiger Zustand oder eine zukünftige Entwicklung für möglich gehalten wird. Im Kern besteht ein Szenario also aus Möglichkeitsaussagen und deren Begründungen. Daneben können weitere deskriptive und darüber hinaus auch normative Aussagen Bestandteil eines Szenarios sein.
- In einer *Szenarioanalyse* werden ein oder mehrere solcher Szenarien generiert und analysiert. Idealtypisch lässt sich die *Analyse isolierter Szenarien* von der *vergleichenden Szenarioanalyse* unterscheiden. Im ersten Fall geht es darum, eine (komplexe) Möglichkeit selbst zu analysieren, etwa im Hinblick auf kausale Abhängigkeiten. Im zweiten Fall ist es das Ziel, weitergehende Schlussfolgerungen, wie etwa Aussagen über robuste Handlungsoptionen (vgl. Abschnitt 3.7), aus dem Vergleich mehrerer Szenarien zu gewinnen.
- Als eine *Szenariostudie* wird im Folgenden die Textgattung bezeichnet, in der Szenarien und Szenarioanalysen präsentiert werden. Im Energiebereich sind dies typischerweise Gutachten.

greifen – womit insbesondere aussagenlogische Analysen von Szenariostudien ermöglicht werden. Dieses Vorgehen erlaubt es, zu rekonstruieren, wie bestimmte Möglichkeitsaussagen in einer solchen Studie begründet werden und welche weitergehenden Schlussfolgerungen aus diesen gezogen werden. Im Folgenden werden die Grundzüge dieses Ansatzes anhand einer Beispielstudie, den „Politiksznarien für den Klimaschutz VI“<sup>16</sup>, illustriert.<sup>17</sup>

- Szenarien können als Aussagensysteme analysiert und evaluiert werden.
- Im Kern besteht ein Szenario aus Möglichkeitsaussagen über die Zukunft und deren Begründungen.

## 2.2 Was heißt „möglich“?

Mit einem Szenario wird ausgedrückt, dass ein zukünftiger Zustand oder eine zukünftige Entwicklung eines Aspektes der Welt für möglich gehalten wird. Was aber heißt „möglich“? Dem vorliegenden Text liegt die Interpretation Isaac Levis zugrunde, wonach *möglich* nichts anderes heißt als *konsistent mit dem aktuell verfügbaren und relevanten Wissen*.<sup>18</sup> Dieses Verständnis wird auch in der Alltagsrede sichtbar, etwa wenn wir sagen, dass etwas

Wie in den voranstehenden Definitionen deutlich wird, liegt dem vorliegenden Text der analytische Ansatz zugrunde, Szenarien als Aussagensysteme zu be-

<sup>15</sup> Im vorliegenden Diskussionspapier gehen wir jedoch davon aus, dass Szenarien als Texte vorliegen. Damit nehmen wir an, dass alle nicht-textlichen Darstellungen, die Bestandteil der Formulierung eines Szenarios sein können, also etwa auch Diagramme und Tabellen, in eine textliche Form übersetzt vorliegen oder in diese übersetzt werden können. Darauf, dass diese Übersetzung bereits eine Interpretation ist, wird hier nicht weiter eingegangen.

<sup>16</sup> Öko-Institut et al. 2013.

<sup>17</sup> Es sei betont, dass der hier verfolgte Ansatz eine spezifische Form der Interpretation von Texten darstellt, die mit spezifischen Qualitätskriterien gerade im Umgang mit mehrdeutigen Texten und unvollständigen Argumenten verbunden ist. Von zentraler Bedeutung ist dabei das Prinzip der wohlwollenden Interpretation, das im Kern darin besteht, die Aussagen eines Autors so stark wie möglich zu rekonstruieren und dann erst diese wohlwollende Interpretation kritisch zu diskutieren. Auf die praktischen Herausforderungen, die damit verbunden sind, kann im vorliegenden Text jedoch nicht im Detail eingegangen werden. Eine gute Einführung in die Argumentationsanalyse liefern Brun/Hirsch/Hadorn 2009. Dieckhoff 2014 stellt eine detaillierte Anwendung dieses Ansatzes auf Energieszenarien dar.

<sup>18</sup> Vgl. Levi 1980.

„nach derzeitigem Kenntnisstand“ möglich ist.<sup>19</sup>

Konsistenz bedeutet im logischen Sinne zunächst einmal nichts anderes als Widerspruchsfreiheit. Fassen wir außerdem das aktuell verfügbare und relevante Wissen als eine Menge von Aussagen über den betreffenden Gegenstand auf, so bedeutet beispielsweise der Satz „es ist möglich, dass morgen die Sonne scheint“, dass die Aussage „morgen scheint die Sonne“ nicht im logischen Widerspruch zu unserem Wissen über das morgige Wetter steht.

Offenkundig geht mit dem Formulieren von Möglichkeitsaussagen also eine zumindest implizite Festlegung einher, was überhaupt für eine bestimmte Fragestellung *als Wissen anerkannt und auch als relevant angesehen wird*. Beide Aspekte sind jedoch potenziell umstritten, gerade wenn es um Wissen über komplexe Systeme wie das Energiesystem geht. So besteht zwar beispielsweise in der Regel Konsens über die Gültigkeit von Naturgesetzen. In welchem Umfang aber durch technologischen Fortschritt mit Effizienzsteigerungen von Energieerzeugungsanlagen zu rechnen ist, ist häufig umstritten. Auf der anderen Seite ist die Frage, welches Wissen das relevante ist, eine Sache der diskursiven und auch interdisziplinären Aushandlung. So ist es bislang üblich, bei der Analyse möglicher Entwicklungen des Energiesystems vor allem technisch-physikalisches und ökonomisches Wissen einzubeziehen. Erst in jüngerer Zeit wird auch vermehrt sozial-

wissenschaftliches, psychologisches und politikwissenschaftliches Wissen berücksichtigt.<sup>20</sup>

Die Formulierung von Möglichkeitsaussagen stellt – anders als es vielleicht auf den ersten Blick erscheinen mag – eine anspruchsvolle wissenschaftliche Aufgabe dar. Notwendige Bedingung für die Beurteilung von Möglichkeitsaussagen und damit auch von Energieszenarien ist, dass überhaupt nachvollziehbar ist, auf welches Wissen sich eine Möglichkeitsaussage bezieht. Diese Bedingung ist bei Energieszenarien jedoch häufig nur eingeschränkt erfüllt. So untersuchen beispielsweise Pahle et al. die Entwicklung der spezifischen Investitionskosten, die für unterschiedliche Technologien der erneuerbaren Energien in einer Reihe nationaler und internationaler Energieszenariostudien zugrunde gelegt werden.<sup>21</sup> Die Investitionskosten hängen unter anderem davon ab, welche Effizienzsteigerung in der Produktion der Technologien und in der daraus folgenden Kostensenkung über Lerneffekte erreicht wird.

Die Autoren stellen fest, dass nur in einem kleinen Teil der untersuchten Studien vollständige Angaben für die dabei kritische Größe der Lernrate gemacht wird.<sup>22</sup> In den Fällen, in denen dies erfolgt, wird die Wahl der angenommenen Raten aber nicht transparent begründet.<sup>23</sup> Bei manchen der untersuchten Studien ist also noch nicht einmal bekannt, welches Wissen – in diesem Fall über Innovationsprozesse – den Szenarien zugrunde liegt.<sup>24</sup> Pahle et al. kommen deshalb in Bezug auf die von ihnen untersuchten Studien zu dem Schluss, dass „eine abschließende Bewertung, welche Lernrate aus

19 Hiervon zu unterscheiden ist das Verständnis, wonach „möglich“ als gleichbedeutend mit „vorstellbar“ oder „denkbar“ angesehen wird. In diesem Fall wäre all das möglich, was wir uns mit unseren Begriffen vorstellen können, also etwa, dass Steine auf der Erde nach oben fallen oder thermische Kraftwerke verlustfrei arbeiten. Da diese Aussagen jedoch unserem Wissen über die Welt widersprechen, handelt es sich hierbei offenkundig nicht um Möglichkeiten im Sinne Levis. Gelegentlich wird in Energieszenarien betont, dass dort „plausible“ oder auch „realistische“ Szenarien beschrieben werden. Dies kann so verstanden werden, dass hier gerade eine Abgrenzung zu solchen bloßen „Denkmöglichkeiten“ vorgenommen werden soll.

20 Schippl/Grunwald 2013.

21 Pahle et al. 2012.

22 Ebd., S. 24.

23 Ebd., S. 26.

24 Zu einem ganz ähnlichen Ergebnis kommen auch Fischedick et al. 2012 in ihren Empfehlungen zu zukünftigen Metaanalysen.

wissenschaftlicher Sicht belastbarer ist, (...) praktisch unmöglich [ist].“<sup>25</sup> Offensichtlich ist es damit auch unmöglich einzuschätzen, welche Qualität und Relevanz dieses Wissen hat, ob es sich also etwa um empirisch belegte Phänomene oder lediglich um willkürliche Setzungen handelt.

Des Weiteren ist hervorzuheben, dass eine Möglichkeitsaussage immer nur in Bezug auf das jeweils *aktuelle* Wissen getroffen wird. Möglichkeitsaussagen und damit auch Szenarien sind also prinzipiell fehlbar, denn das aktuelle Wissen kann sich später als falsch erweisen, oder es kann neues Wissen hinzukommen, das früheren Möglichkeitsaussagen widerspricht. Umgekehrt kann sich etwas, das zunächst als unmöglich angesehen wurde, später doch noch als möglich erweisen.<sup>26</sup> Damit wird auch deutlich: Wenn über einen Gegenstand wenig gewusst wird, ist relativ viel möglich. Schließlich ist ja alles möglich, was nicht im Widerspruch zum relevanten Wissen steht.

- Ein Szenario ist genau dann möglich, wenn es mit dem aktuell verfügbaren und relevanten Wissen konsistent ist.
- Welches Wissen als relevant gilt, muss abhängig von der jeweiligen Fragestellung ausgehandelt werden.
- Da sich das Wissen verändert, können bisher unmögliche Szenarien möglich werden und umgekehrt.

### 2.3 Szenarien als Ausschnitte von Möglichkeitsräumen

Alle künftigen Entwicklungen eines Systems bilden zusammen den Möglichkeitsraum des Systems. Dieser ist umso größer, je weniger wir über den betreffenden Gegenstand wissen. Abbildung 2 illustriert

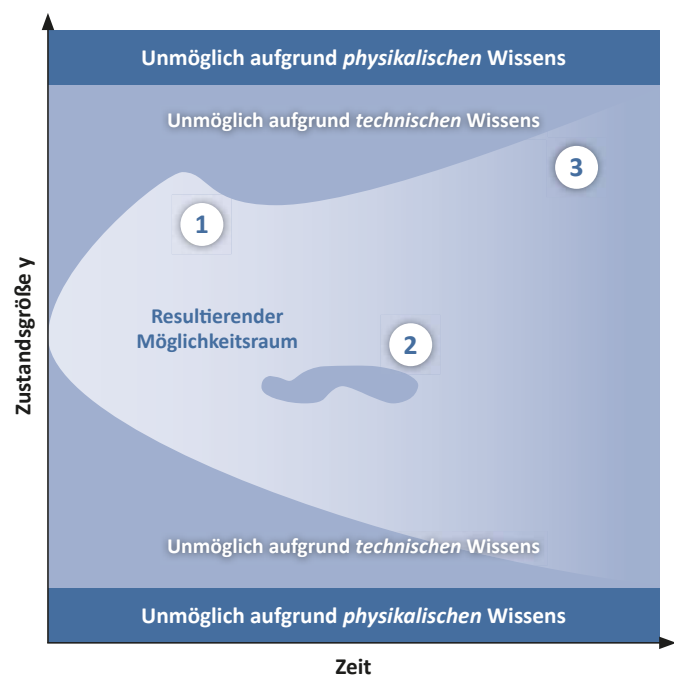


Abbildung 2: Illustration eines Möglichkeitsraumes<sup>28</sup>

den Möglichkeitsraum für den *heutigen Stand* des Wissens über die *zukünftigen* Entwicklungsmöglichkeiten eines Systems.<sup>27</sup> Der resultierende Möglichkeitsraum in der Mitte der Abbildung ergibt sich aus der Einschränkung durch unterschiedliche Arten von Wissen. Im Beispiel sind die resultierenden Möglichkeiten sowohl physikalisch als auch technisch möglich. Ein Szenario, das in dieser Hinsicht möglich ist, liegt also innerhalb des resultierenden Möglichkeitsraums.

Möglichkeitsräume können eine komplexe Struktur aufweisen. Markierung 1 in der Abbildung weist darauf hin, dass die Ränder von Möglichkeitsräumen eine komplizierte Form haben können und insbesondere nicht unbedingt monoton sein müssen. Mit Punkt 2 wird ein „Loch“ markiert, womit angedeutet wird, dass Wissen nicht einfach nur die Möglichkeitsräume von außen eingrenzt, sondern auch Möglichkeiten innerhalb derselben

<sup>25</sup> Pahle et al. 2012, S. 29.

<sup>26</sup> Vgl. Betz 2010.

<sup>27</sup> Es handelt sich also insofern um eine statische Betrachtung, als der in Abschnitt 2.5 diskutierte Wandel des Wissens selbst nicht dargestellt wird.

<sup>28</sup> Eigene Darstellung.



ausschließen kann.<sup>29</sup> Punkt 3 markiert das Verblenden des Möglichkeitsraumes und illustriert damit, dass manches Wissen über weiter entfernte Zeitpunkte zunehmend unsicherer wird.

Nimmt man eine modelltheoretische Perspektive ein, können wir diesen Raum als alle mit unserem Wissen konsistenten Wertekombinationen sämtlicher relevanter (exogener wie endogener, vgl. Abschnitt 2.7) Größen des modellierten Systems auffassen. Gilt es eine Vielzahl von Systemgrößen zu beachten, so ist der resultierende Möglichkeitsraum mehrdimensional. Bestehen kausale Abhängigkeiten der Systemgrößen, so können wir den Möglichkeitsraum als komplex bezeichnen. Die Größe des Möglichkeitsraumes ergibt sich aus den Wertebereichen, den die Systemgrößen annehmen können. Die Größe des Möglichkeitsraumes spiegelt damit das Ausmaß der Unsicherheit im Wissen über das betrachtete System wider. Selbst mit modernen Computern und numerischen Verfahren lassen sich mehrdimensionale, komplexe und große Möglichkeitsräume oft nur unvollständig erfassen. Eben dies gilt in der Regel für die Analyse des Energiesystems. Deshalb ist es in der gängigen Praxis üblich, lediglich eine Auswahl bestimmter möglicher Entwicklungen – sprich Szenarien – des Energiesystems zu untersuchen und eine relativ kleine Anzahl von Varianten dieser Szenarien durch die Veränderung von Annahmen kritischer Systemgrößen zu bestimmen (sogenannte Sensitivitätsanalysen). Damit gelingt jedoch in der Regel

lediglich eine partielle Ausleuchtung des Möglichkeitsraumes.

Eine zentrale Herausforderung in der derzeitigen Praxis der Energiemodellierung ist deshalb die Eingrenzung des Möglichkeitsraumes auf eine handhabbare Zahl von Szenarien und Sensitivitätsrechnungen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass es bisher keine allgemein anerkannten Verfahren für diese Auswahl gibt. Ein solches Verfahren müsste nicht nur wissenschaftlich valide sein, sondern auch dem Verwendungskontext der Szenarien gerecht werden. Außerdem sollte kenntlich gemacht werden, inwiefern der Auftraggeber einer Energieszenariostudie an diesen Festlegungen beteiligt ist. Zumindest sollten die Auswahlkriterien dokumentiert werden.<sup>30</sup>

In der Praxis der Erstellung von Energieszenarien hat sich eine Reihe von Methoden etabliert, um den Möglichkeitsraum einzugrenzen. Eine Strategie besteht darin, den zu untersuchenden Möglichkeitsraum dadurch zu begrenzen, dass nicht bloß „mögliche“, sondern darüber hinaus nur „plausible“ oder „wahrscheinliche“ Entwicklungen betrachtet werden. Werden den Szenarien hierbei keine Wahrscheinlichkeiten im engeren Sinne zugewiesen und diese methodisch gerechtfertigt (vgl. Abschnitt 2.6) – und dies ist bei Energieszenarien in der Regel der Fall –, so ist in diesen Fällen jedoch nicht klar, welches über die Konsistenz hinausgehende Kriterium sich hinter diesem Vorgehen verbirgt. Vielmehr scheint dann ein informeller Wahrscheinlichkeits- beziehungsweise Plausibilitätsbegriff vorzuliegen. Der Analyse Voigts zufolge wird etwa im Energiewirtschaftsgesetz<sup>31</sup> bei den Vorgaben zur Erarbeitung der Szenariorahmen für die Netzentwicklungspläne<sup>32</sup> und deren Genehmigung

<sup>29</sup> Beispielsweise kommt es bei bestimmten Drehzahlen von Windenergieanlagen zu schnellerer Materialermüdung aufgrund von Resonanzphänomenen. Dies geschieht etwa, wenn die Rotorblätter den Bereich geringerer Windgeschwindigkeit vor dem Turm gerade mit einer Eigenfrequenz des Turms passieren und diesen so zu Schwingungen anregen. In der Konstruktion und erst recht im Betrieb müssen diese Drehzahlbereiche also gemieden werden. Es ist physikalisch also möglich, Windenergieanlagen zu bauen, die gerade in diesen Drehzahlbereichen arbeiten. Technisch ist es aber nicht möglich, eine solche Anlage über längere Zeit zu betreiben, weil sie über kurz oder lang durch Materialversagen zerstört würde. Der kritische Drehzahlbereich stellt hier also ein „Loch“ im physikalisch-technischen Möglichkeitsraum dar.

<sup>30</sup> Vgl. Grunwald 2011; Dieckhoff 2014.

<sup>31</sup> Deutscher Bundestag, 7. Juli 2005.

<sup>32</sup> Letzter genehmigter Szenariorahmen: 50Hertz et al. 2013.

durch die Bundesnetzagentur<sup>33</sup> ein solcher informeller Wahrscheinlichkeitsbegriff verwendet.<sup>34</sup> Im Energiewirtschaftsgesetz wird demnach gefordert, dass mit den verwendeten Szenarien die „Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen“<sup>35</sup> abgedeckt werden soll. Es bleibt jedoch sowohl im Energiewirtschaftsgesetz als auch in den Genehmigungen der Szenariorahmen unklar, durch welche Kriterien hierbei wahrscheinliche Entwicklungen von unwahrscheinlichen unterschieden werden.<sup>36</sup>

Eine andere Strategie besteht darin, den Möglichkeitsraum durch eine kleine Zahl von Szenarien zu repräsentieren, sodass nur diese näher untersucht werden müssen. Insbesondere kommen hierbei sogenannte Extremszenarien zum Einsatz. Diese Strategie wird ebenfalls bei der Festlegung der Szenariorahmen für die Netzentwicklungspläne verfolgt. Voigt zeigt jedoch, dass eine solche Repräsentation schon bei einem zweidimensionalen Möglichkeitsraum nur unter bestimmten Voraussetzungen gelingt. Im Fall der Szenariorahmen der Netzentwicklungspläne sind diese jedoch nicht erfüllt, denn hier sollen mit nur drei Szenarien die möglichen Entwicklungen eines Möglichkeitsraums abgedeckt werden, der weit mehr als zwei Dimensionen hat.<sup>37</sup>

Eine dritte Strategie besteht darin, den betrachteten Möglichkeitsraum durch normative Festlegungen einzugrenzen. Dies ist etwa beim verbreiteten Konzept der Zielszenarien der Fall, bei dem nur Szenarien untersucht werden, in denen bestimmte Zielvorgaben und damit normative Festlegungen erfüllt sind. Dieses Vorgehen wird näher im nächsten Abschnitt beschrieben. Die Szenarien des Netzentwicklungsplans stellen wiederum ein Beispiel hierfür dar, da für diese gefordert wird, dass sie die „Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen im Rahmen der mittel- und langfristigen energiepolitischen Ziele der Bundesregierung abdecken“<sup>38</sup> sollen.

Unabhängig vom Vorgehen bei der Entwicklung der Szenariorahmen für die Netzentwicklungspläne wird augenscheinlich häufig eine Reihe impliziter Strategien genutzt, denn nicht alle Festlegungen in Energieszenariostudien werden explizit gerechtfertigt. Darüber, welche dies im Einzelnen sind, besteht weitgehend Unklarheit. Grunwald vermutet etwa, dass in der Praxis auch Ad-hoc-Annahmen eine wichtige Rolle spielen, also Annahmen, die „aus dem Bauch heraus“ getroffen und nicht weiter begründet werden.<sup>39</sup> Darüber hinaus sind gerade bei Energieszenarien, die mit Computermodellen erstellt wer-

33 Zuletzt Bundesnetzagentur 2013.

34 Vgl. Voigt 2013.

35 Deutscher Bundestag, 7. Juli 2005, §12 a Abs.1.

36 Laut Voigt stellt dies die auskunftstärkste Aussage hierzu in der aktuellen Genehmigung dar: „Ein Szenario ist als wahrscheinlich zu erachten, wenn es mit einer hinreichend hohen Realisierungswahrscheinlichkeit verbunden ist und somit das zu entwickelnde Stromnetz in der Zukunft den Anforderungen dieses Szenarios mit hinreichend hoher Wahrscheinlichkeit genügen muss.“ (Bundesnetzagentur 2013, S. 42). Ein weiteres Kriterium wird in der ersten Genehmigung genannt: „Eine Eingrenzung der als ‚wahrscheinlich‘ zu erachtenden Entwicklungen findet dabei durch das (...) Kriterium der Erfüllung der energiepolitischen Ziele der Bundesregierung statt.“ (Bundesnetzagentur 2011, S. 34). Zwar wird im Anschluss an diese Stelle erläutert, dass dies nicht das einzige Kriterium ist, die weiteren Kriterien werden jedoch nicht explizit genannt.

37 Vgl. Voigt 2013. Eine ähnliche Kritik üben die Autoren der Studie BET 2014 und machen einen Vorschlag für eine Weiterentwicklung der Methodik zur Entwicklung des Szenariorahmens.

- Alle künftigen Entwicklungen eines Systems, die laut dem relevanten Wissen möglich sind, bilden zusammen den Möglichkeitsraum des Systems.
- Der Möglichkeitsraum des Energiesystems ist groß, komplex und mehrdimensional.
- Ein Szenario beschreibt eine dieser Entwicklungen und stellt damit einen Ausschnitt aus dem Möglichkeitsraum dar.
- In Szenarioanalysen besteht eine Schwierigkeit in der gut begründeten Auswahl der betrachteten Szenarien.

38 Deutscher Bundestag, 7. Juli 2005, §12 a Abs.1; Hervorhebung der Autoren.

39 Vgl. Grunwald 2011, S. 827.



den, implizite Festlegungen in der Praxis des Modellierens zu suchen, denn schon die Festlegung auf bestimmte Modellkonzepte und -annahmen stellt eine Auswahl von Möglichkeitsräumen dar.

Es zeigt sich also, dass in der Praxis der Erstellung von Energieszenarien eine ganze Reihe von Methoden zur Einschränkung des relevanten Möglichkeitsraumes eingesetzt werden. Eine systematische Analyse ihrer Validität und Angemessenheit bezüglich des Verwendungskontextes der Szenarien steht jedoch aus.

## 2.4 Explorative Szenarien und Zielszenarien

Die Erstellungsprozesse von Szenarien und auch von Energieszenarien sind äußerst divers. Sie reichen von qualitativen Verfahren, in denen Szenarien in Form von Narrationen oder Storylines erstellt werden, bis hin zu quantitativen Verfahren, bei denen die Szenarien mithilfe mehr oder minder anspruchsvoller Verfahren berechnet werden. Auch unterscheiden sich die Erstellungsprozesse hinsichtlich der daran beteiligten Akteure. So finden sich eher partizipative Verfahren an einem und eher expertenbasierte Vorgehensweisen am anderen Ende des Spektrums.<sup>40</sup>

In Energieszenariostudien dominieren zwei Ansätze. Dies sind einerseits das meist als *Forecasting* bezeichnete Vorgehen, in dem sogenannte *explorative Szenarien* erstellt werden, und andererseits das häufig als *Backcasting* bezeichnete Vorgehen, in dem sogenannte *Zielszenarien* erstellt werden. In der Literatur werden diese Terminologien unterschiedlich verwendet, wir orientieren uns hier an der Unterscheidung von Grunwald.<sup>41</sup> Abbildung 3 illustriert die beiden Ansätze.

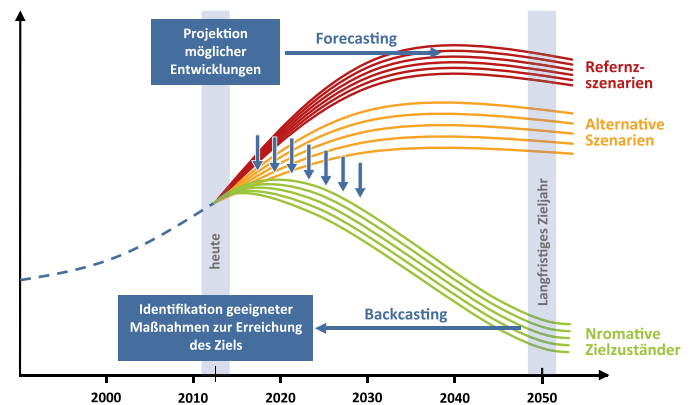


Abbildung 3: Illustration der Vorgehensweisen Forecasting und Backcasting<sup>42</sup>

Explorative Szenarien werden gelegentlich auch als „deskriptive“<sup>43</sup> oder als „indikative Szenarien“<sup>44</sup> bezeichnet. Die Grundidee besteht darin, dass von der Gegenwart aus mögliche zukünftige Entwicklungen eines Systems ergebnisoffen erdacht, identifiziert oder berechnet werden – und zwar unabhängig davon, ob diese zukünftigen Entwicklungen gewünscht sind oder nicht.

Zielszenarien werden gelegentlich auch als „normative Szenarien“<sup>45</sup> bezeichnet – wobei dies verwirrend sein kann, da normative Kriterien auch bei der Auswahl und Analyse explorativer Szenarien relevant sein können. Die Grundidee bei Zielszenarien ist, dass zunächst gewünschte zukünftige Zielzustände des interessierenden Systems definiert werden und dann gewissermaßen „rückwärts“ mögliche Entwicklungen identifiziert werden, mit denen diese von der Gegenwart aus erreicht werden können. Dabei müssen die so identifizierten Szenarien offenkundig weiterhin die Anforderung der Konsistenz mit dem aktuellen Wissen erfüllen – andernfalls würden sie zwar gewünschte Zustände beschreiben, aber es wäre unklar, ob sie auch möglich sind.

<sup>42</sup> Grafik adaptiert von ebd., S. 822.

<sup>43</sup> Vgl. zum Beispiel van Notten et al. 2003; Greeuw et al. 2000.

<sup>44</sup> Vgl. Kronenberg et al. 2011.

<sup>45</sup> Vgl. zum Beispiel van Notten et al. 2003; Greeuw et al. 2000.

<sup>40</sup> Eine Übersicht über Varianten der Szenariomethodik bieten Börjeson et al. 2006. Einen Überblick speziell zu Energieszenarien bieten Mai et al. 2013.

<sup>41</sup> Grunwald 2011.

Eine spezifische Schwierigkeit bei der Interpretation von Zielszenarien besteht darin, zu identifizieren, was genau als Ziel definiert wird. Denn zum einen wird in vielen Fällen nicht ein vollständiger Systemzustand zu einem bestimmten zukünftigen Zeitpunkt als Ziel definiert, sondern lediglich der Zustand einer Teilmenge der betrachteten Größen. Zum anderen wird häufig kein Zielzustand definiert, der genau erreicht werden muss – etwa ein bestimmter Emissionswert zu einem bestimmten Zeitpunkt –, sondern die Ziele werden häufig als Grenzwerte verstanden, die mindestens erreicht oder nicht überschritten werden dürfen.

Ein bekanntes Beispiel für eine Zielvorgabe dieser zweiten Art ist das Zwei-Grad-Ziel, das erstmals 1995 vom Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) der Bundesregierung<sup>46</sup> als eine Temperaturleitplanke für die globale Klimaerwärmung ausgewiesen wurde und heute eine wichtige Zielsetzung der internationalen Klimapolitik darstellt. Wie Betz schildert, wurde ausgehend von dieser Größe der sogenannte Leitplanken-Ansatz („tolerable windows approach“)<sup>47</sup> entwickelt, dessen Idee darin besteht, den Raum zukünftiger Entwicklungen durch bestimmte normative Kriterien, sogenannte „Leitplanken“, einzugrenzen.<sup>48</sup> Neben der Temperaturleitplanke hat der WBGU zwischenzeitlich eine Reihe weitere Leitplanken für unterschiedliche Problemstellungen definiert. Für eine nachhaltige Transformation des Energiesystems sind dies etwa die Nutzung von maximal drei Prozent der weltweiten Landfläche für den Anbau von Bioenergiepflanzen beziehungsweise für terrestrische CO<sub>2</sub>-Speicherung oder auch die Begrenzung des Anteils der Energieausgaben armer Haushalte auf maximal ein Zehntel ihres Einkommens.<sup>49</sup>

<sup>46</sup> WBGU 1995.

<sup>47</sup> Vgl. Toth 2003.

<sup>48</sup> Betz 2012.

<sup>49</sup> Vgl. WBGU 2003, S. 3.

Eine ähnliche Begrenzung des Möglichkeitsraumes geschieht in Optimierungsmodellen durch die Festlegung von Restriktionen (sogenannte „bounds“), unter denen optimiert wird. Wird etwa der kostenminimale Entwicklungspfad des zukünftigen Energiesystems berechnet, könnten Restriktionen auf den maximalen Zubau bestimmter Technologien gesetzt werden. Das Modell findet dann nur Lösungen, die diese Restriktionen einhalten. Entscheidend ist, dass in einem Gutachten, dessen Szenarien auf diese Weise generiert werden, die Restriktionen vollständig ausgewiesen werden sollten und zu erklären ist, ob es sich hierbei um normative Setzungen handelt.

Hinsichtlich der Verwendung normativer Annahmen bei der Definition von Szenarien ist grundsätzlich anzumerken, dass solche Szenarien dann nicht mehr nur deskriptive Aussagen darüber darstellen, was möglicherweise der Fall sein wird. Zusätzlich werden mit diesen Szenarien dann auch normative Aussagen getroffen, etwa indem bestimmte zukünftige Zustände als wünschenswert ausgewiesen werden. Da manche dieser Festlegungen in den Studien nicht explizit benannt werden, besteht eine Herausforderung bei der Analyse von Szenarien darin, zu klären, worin genau der normative Gehalt eines Szenarios besteht. Bisher liegt jedoch kein Werkzeug vor, um dem in konkreten Studien systematisch nachzugehen.<sup>50</sup>

- Eine Strategie zur Auswahl der betrachteten Szenarien ist die Formulierung explorativer Szenarien. Ausgehend von der Gegenwart werden hierbei mögliche Entwicklungen ergebnisoffen identifiziert.
- Eine andere Strategie besteht in der Formulierung von Zielszenarien. Hierbei werden nur solche Szenarien betrachtet, die bestimmte normative Kriterien – etwa die Erreichung bestimmter Zielzustände – erfüllen.

<sup>50</sup> Vgl. Grunwald 2011.

Um Energieszenarien in der öffentlichen Debatte verorten zu können, ist es außerdem wichtig zu klären, wessen normative Sichtweise gegebenenfalls in einer Studie zum Ausdruck kommt.

## 2.5 Hypothetische, verifizierte und falsifizierte Möglichkeiten

Wie kommt man aber zu Möglichkeitsaussagen? Betz zeigt auf, dass es sinnvoll ist, hierbei mindestens drei Schritte zu unterscheiden.<sup>51</sup> In einem ersten Schritt muss zunächst einmal überhaupt eine Aussage darüber formuliert werden, dass ein Sachverhalt als möglich angesehen wird – es muss also eine *Möglichkeitshypothese* artikuliert werden. Hierbei spielen nicht nur wissenschaftliches Wissen über den Gegenstand, sondern auch Kreativität und Fantasie eine zentrale Rolle (vgl. Abschnitt 3.1). Damit ist aber noch nicht gesagt, dass es sich beim artikulierten Sachverhalt auch tatsächlich um eine Möglichkeit handelt. Um diese Frage zu klären, bestehen zwei Möglichkeiten: Entweder es wird gezeigt, dass die fragliche Aussage tatsächlich widerspruchsfrei zum relevanten Wissen ist – die Möglichkeitshypothese wird damit *verifiziert*. Anders ausgedrückt wird durch die Verifikation also auch nachgewiesen, dass eine bestimmte Hypothese tatsächlich Teil des betreffenden Möglichkeitsraumes ist. Die Alternative besteht darin, zu zeigen, dass eine Hypothese im Widerspruch zum relevanten Wissen steht, womit sie *falsifiziert* wird. Hierdurch wird also nachgewiesen, dass sie nicht Teil des betreffenden Möglichkeitsraumes ist. Beachtet man außerdem, dass sich das Wissen selbst mit der Zeit ändert, können Möglichkeitsaussagen damit unterschiedliche Stadien durchlaufen, wie Abbildung 4 anhand eines willkürlichen Beispiels illustriert.

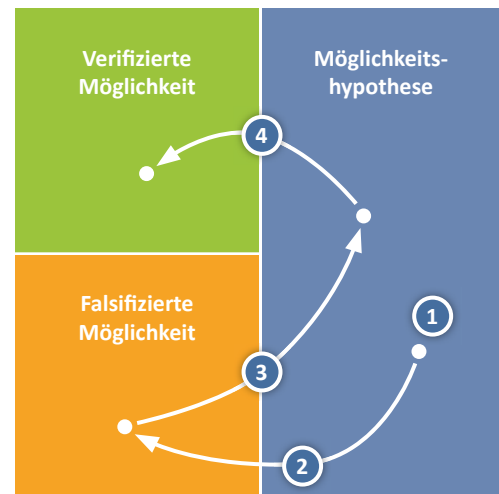


Abbildung 4: Beispielhafter Weg einer Möglichkeitsaussage<sup>52</sup>

Im ersten Schritt des in der Abbildung gezeigten Weges wird eine Möglichkeitshypothese überhaupt erst einmal artikuliert. Anschließend wird gezeigt, dass diese inkonsistent mit dem dann aktuellen Wissen ist, sie wird also falsifiziert. In Schritt 3 werden begründete Zweifel an der Inkonsistenz geäußert, sodass diese wieder den Status einer Hypothese erhält. Zwischenzeitlich hat sich das relevante Wissen verändert, sodass im vierten Schritt die Möglichkeit der Hypothese gezeigt werden kann.<sup>53</sup> Natürlich sind viele andere Wege einer Möglichkeitsaussage denkbar, etwa auch derjenige, bei dem eine Hypothese formuliert und anschließend ohne Umweg verifiziert wird.

Grundsätzlich ist es wichtig zu beachten, dass sich aus der Verifikation und Falsifikation einer bestimmten Möglichkeitshypothese nicht ohne weiteres auf die Möglichkeit oder Unmöglichkeit anderer Hypothesen schließen lässt. Zumindest wenn Aussagen über robuste Entwicklungen oder Handlungsoptionen auf der Grundlage von Szenarien getroffen werden sollen (vgl. Abschnitt 3.7), besteht die Gefahr, dass dieser Fehlschluss versteckt begangen wird. Ein Beispiel hierfür ist der „Special Report on Renewable Energy

<sup>51</sup> Betz 2010.

<sup>52</sup> Grafik adaptiert von ebd., S. 99.

<sup>53</sup> In Anlehnung an ebd., S. 99.

Sources and Climate Change Mitigation“, in dem 164 Energieszenarien ausgewertet wurden.<sup>54</sup> Aus der Beobachtung, dass in den *meisten der untersuchten Szenarien*, in denen keine zusätzlichen Emissionsvermeidungsmaßnahmen angenommen wurden („baseline scenarios“, im Folgenden als Referenzszenarien bezeichnet), der Einsatz erneuerbarer Energien zunimmt, wird hier geschlussfolgert, dass *ganz allgemein* mit einem wachsenden Anteil der erneuerbaren Energien auch ohne zusätzliche Maßnahmen zu rechnen ist.<sup>55</sup> Dieser Schluss setzt jedoch voraus, dass die untersuchten Referenzszenarien den relevanten Möglichkeitsraum vollständig abdecken, oder anders formuliert, dass alle Referenzszenarien jenseits der untersuchten als unmöglich angesehen werden können. Die Autoren des Berichts geben allerdings an, dass der Zuwachs an Erneuerbaren Energien maßgeblich dadurch bestimmt wird, dass ein wachsender Energieverbrauch und zunehmende ökonomische Wettbewerbsfähigkeit der regenerativen Technologien unterstellt werden. Es ist zumindest nicht offensichtlich, wieso gegenteilige Entwicklungen als unmöglich angesehen und damit ausgeschlossen werden können, sodass es auch fraglich ist, ob es sich hierbei tatsächlich um eine robuste Entwicklung handelt.

Wie Betz im Detail vorführt, liegen in vielen Situationen, in denen wir es mit unsicherem Wissen zu tun haben – und damit gerade in solchen, in denen Szenarien zum Einsatz kommen –, alle drei Arten von Aussagen vor: Von den artikulierten Möglichkeitshypothesen zum betreffenden Gegenstand ist in einem solchen Fall nur ein Teil verifiziert und ein anderer Teil falsifiziert worden, aber für einen dritten Teil der Aussagen konnte bisher weder das eine noch das andere geschehen, sodass diese Aussagen weiterhin nur Hypothesen darstellen. Betz

weist darauf hin, dass einerseits eine solche Situation durchaus angemessen den Stand des Wissens repräsentieren kann, nämlich dann, wenn eben nicht mehr gewusst wird. Er betont, dass es dann auch geboten erscheint, diesen unvollständigen Wissensstand für Entscheidungen transparent zu machen und weist jedoch gleichzeitig darauf hin, dass derzeit keine rationalen Entscheidungsprinzipien für eine solche Situation vorliegen.<sup>56</sup>

Im Fall von Energieszenariostudien ist zunächst festzustellen, dass sie dem eigenen Anspruch nach selten verfasst werden, um Möglichkeitshypothesen zu falsifizieren – solche Fälle könnten aber etwa in Form von Gegengutachten auftreten. Es steht außer Frage, dass in Energieszenariostudien mindestens Möglichkeitshypothesen artikuliert werden, womit sie eine kreative und integrative Funktion erfüllen (vgl. Abschnitt 3.1). Auch scheint außer Frage zu stehen, dass es zumindest das Anliegen der meisten Energieszenariostudien ist, Möglichkeiten mithilfe von Modellen zu verifizieren.

- Eine Möglichkeitshypothese ist eine Aussage, von der behauptet wird, dass sie konsistent mit dem relevanten Wissen ist.
- Mit der Verifikation einer Möglichkeitshypothese wird dies nachgewiesen. Das Behauptete ist also möglich. Mit ihrer Falsifikation wird nachgewiesen, dass sie im Widerspruch zum relevanten Wissen steht. Das Behauptete ist also nicht möglich.
- Energieszenarien verfolgen in der Regel das Ziel der Verifikation von Möglichkeiten.

<sup>54</sup> IPCC 2011.

<sup>55</sup> Ebd., S. 794, 803 ff.

<sup>56</sup> Betz 2010.

## 2.6 Unterschied zu deterministischen Prognosen und Wahrscheinlichkeitsprognosen

Beim Formulieren und Begründen von Möglichkeitsaussagen handelt es sich um eine spezifische „Technik“, mit der Wissen und gleichzeitig die Unsicherheit dieses Wissens artikuliert wird. Dabei kommen Möglichkeitsaussagen und damit auch Szenarien dann zum Einsatz, wenn die Unsicherheiten besonders groß sind, dann eben, wenn „nur“ noch Möglichkeiten begründet werden können. In Anlehnung an Knight<sup>57</sup> unterscheidet Betz darüber hinaus jedoch zwei weitere Formen, in denen Wissen und die spezifische Unsicherheit des Wissens artikuliert werden können.<sup>58</sup> Während Möglichkeitsaussagen die Variante für besonders unsicheres Wissen darstellen, liegt die Formulierung deterministischer Aussagen, also auch deterministischer Prognosen, gerade am anderen Ende des Spektrums. Statt der Möglichkeitsaussage „es ist möglich, dass es nächste Woche regnet“ könnte eine deterministische Aussage lauten: „Es wird in der nächsten halben Stunde regnen“. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, Wahrscheinlichkeitsaussagen zu treffen. Beispielsweise werden heute in Wetterprognosen die Wahrscheinlichkeiten für Regen in Prozent angegeben. Diese Variante rangiert grob gesagt zwischen Möglichkeits- und deterministischer Aussage, denn die Unsicherheit ist hier immerhin so beschaffen, dass sie quantitativ bestimmt werden kann. Mit einem Szenario wird im Kern eine Möglichkeitsaussage über die Zukunft getroffen, aber keine Wahrscheinlichkeits- oder deterministische Prognose.

Im Bereich der Analyse zukünftiger Energiesysteme stellen Möglichkeitsaussagen und damit Szenarien die Standardform dar, in der heute Wissen artikuliert wird. Von einzelnen Studien<sup>59</sup> abgesehen, wer-

den keine Wahrscheinlichkeitsanalysen durchgeführt. Deterministische Prognosen sind heute in der Analyse des zukünftigen Energiesystems ebenfalls unüblich, eine Ausnahme bildet etwa die Energieprognose 2012 von ExxonMobil.<sup>60</sup> Darüber führen zwar einige Studien den Ausdruck „Prognose“ im Titel, stellen bei genauerer Betrachtung jedoch Szenarien vor.<sup>61</sup>

- Mit einer deterministischen Prognose wird behauptet, dass etwas mit Sicherheit der Fall sein wird.
- Eine Wahrscheinlichkeitsprognose drückt aus, dass etwas mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit der Fall sein wird.
- Szenarien sind weder deterministische Prognosen noch Wahrscheinlichkeitsprognosen.

## 2.7 Modelle als Grundlage von Szenarien

Wird versucht, mit Szenarien wissenschaftliche Fragestellungen zu beantworten, sind meist keine einzelnen Größen eines Gegenstandsbereiches von Interesse, sondern Systeme zu betrachten, die durch eine Vielzahl von Größen beschrieben werden und die zudem noch miteinander in Wechselwirkung stehen. Dies gilt auch im Themenbereich von Energieszenarien, in denen das Energiesystem anhand technischer, ökonomischer, sozialer und anderer Größen und Wechselwirkungen betrachtet wird. Um diese Komplexität handhabbar zu machen, werden oft Computermodelle erstellt, die den Gegenstandsbereich angemessen repräsentieren sollen und mit deren Hilfe dann Szenarien „berechnet“ werden können.

Zur Erstellung eines solchen Modells müssen grundlegende Entscheidungen getroffen werden, die unmittelbar für

<sup>57</sup> Knight 1921.

<sup>58</sup> Betz 2010.

<sup>59</sup> Etwa Linßen et al. 2006.

<sup>60</sup> ExxonMobil 2012.

<sup>61</sup> Ein Beispiel ist die Studie von IER/RWI/ZEW 2010.



das Verständnis der mit ihnen erzeugten Szenarien relevant sind. Dies betrifft insbesondere die Festlegung des zu betrachtenden Systems und seiner Grenzen. Hier muss zum einen festgelegt werden, welches Realsystem untersucht werden soll, ob also etwa das Energiesystem einer Stadt oder eines Landes im Fokus steht. Zum anderen muss aber auch festgelegt werden, *in welcher Hinsicht* dieses System untersucht werden soll. So könnte sich eine Analyse etwa auf technisch-physikalische Aspekte beschränken und hierzu Stoff- und Energieströme in Masse- und Energieeinheiten betrachten. Eine andere Analyse könnte dagegen die ökonomische Interaktion von Agenten oder Sektoren im betreffenden System betrachten und hierzu Güter und Kapitalströme in monetären Einheiten untersuchen.

Eng hiermit verbunden ist die Festlegung darauf, welche Wechselwirkungen innerhalb des Systems sowie des Systems mit seiner Umwelt untersucht werden und welche Annahmen hierbei eingehen. Beispielsweise unterscheiden sich ökonomische Analysen darin, ob den modellierten Akteuren die Fähigkeit der Antizipation zukünftiger Entwicklungen unterstellt wird („perfekte Voraussicht“) oder ob dies gerade nicht der Fall ist („myopische Erwartungsbildung“).<sup>62</sup> Annahmen, die sich auf die Art und Weise beziehen, wie bestimmte reale Phänomene im Modell repräsentiert werden, werden im Folgenden als *Modellannahmen* bezeichnet. Sie können sich sowohl in der Wahl mathematischer Funktionen als auch in der programmiertechnischen Umsetzung der Modelle niederschlagen.<sup>63</sup>

Zur Bezeichnung dessen, was bei einer Untersuchung zum betrachteten System hinzugerechnet wird, werden endogene Größen von exogenen unterschieden.<sup>64</sup> *Endogene Größen* sind all diejenigen, die durch Wechselwirkungen innerhalb des betrachteten Systems bestimmt sind. Wird das betrachtete System durch ein mathematisches Modell repräsentiert, stellen diese Größen die abhängigen Variablen des Modells dar. Ihre numerischen Werte werden damit auch als *Ergebnisse* bezeichnet. Demgegenüber werden *exogene Größen* durch Wechselwirkungen bestimmt, die außerhalb des betrachteten Systems liegen. Die numerischen Werte für diese Größen werden auch als *Rahmenannahmen* bezeichnet. Beispielsweise wird in Energiemodellen, die die Frage beantworten wollen, wie ein zukünftiger Kraftwerkspark aussehen kann, häufig nicht untersucht, wie sich die Energienachfrage aus den Nachfragen unterschiedlicher Sektoren zusammensetzt. Stattdessen wird die Gesamtnachfrage als aggregierte Größe exogen vorgegeben. Häufig wird in Energieszenariostudien der Begriff „Rahmenannahme“ nur für solche Annahmen verwendet, die nicht zwischen den unterschiedlichen Szenarien verändert werden. Dies gilt auch für die im nächsten Abschnitt analysierte Studie „Politiksznarien für den Klimaschutz VI“.<sup>65</sup> Ein typisches Beispiel für eine solche Annahme ist etwa das Bevölkerungswachstum. Im Folgenden verwenden wir der Einfachheit halber diesen Begriff jedoch für die Bezeichnung der numerischen Annahmen sämtlicher exogener Größen, also inklusive derjenigen, die zwischen den Szenarien variiert werden.

Für die Erstellung von Energieszenarien werden unterschiedliche Arten von Modellen verwendet. Üblicherweise wird diese Vielfalt in zwei größere Gruppen eingeteilt, nämlich in sogenannte

<sup>62</sup> Mai et al. 2013, S. 24 f.

<sup>63</sup> Beispielsweise wird in Optimierungsmodellen die Annahme der myopischen Erwartungsbildung durch sequentielle Optimierung umgesetzt. Dabei wird für jeden Zeitschritt in einem Szenario ein eigenes Optimierungsproblem gelöst. Die Annahme der perfekten Voraussicht wird dagegen durch eine intertemporale Optimierung umgesetzt, bei der ein Optimierungsproblem für alle Zeitschritte gleichzeitig gelöst wird (vgl. ebd.).

<sup>64</sup> „Endogen“ in Brockhaus 2006.

<sup>65</sup> Öko-Institut et al. 2013.

Top-down-Modelle, die gesamte Volkswirtschaften auf Grundlage ökonomischer Theorien und Methoden repräsentieren, und in sogenannte Bottom-up-Modelle, die einzelne Sektoren, hier insbesondere den Energiesektor, aus eher prozessanalytischer beziehungsweise ingenieurwissenschaftlicher Sicht beschreiben. Innerhalb dieser beiden Gruppen haben sich wiederum unterschiedliche Typen von Modellen herausgebildet: So werden beispielsweise in der Gruppe der Top-down-Modelle häufig sogenannte Allgemeine Gleichgewichtsmodelle verwendet, während aufseiten der Bottom-up-Modelle lineare Optimierungsmodelle und sogenannte Simulations- oder Accountingmodelle<sup>66</sup> verbreitet sind. In jüngerer Zeit finden sich verbreitet sogenannte hybride Ansätze, die Eigenschaften von Top-down- und Bottom-up-Ansätzen miteinander verbinden.<sup>67</sup> Darüber hinaus finden gerade im Bereich der Klimafolgenforschung zunehmend Integrated-Assessment-Ansätze Anwendung, bei denen versucht wird, globale Problemstellungen in einer interdisziplinären Perspektive zu analysieren.<sup>68</sup>

Die Eigenschaften dieser unterschiedlichen Modelle wirken sich auch auf die Eigenschaften der mit ihnen generierten Szenarien aus. Dabei sei auf einen besonders kritischen Aspekt hingewiesen: Diese Modelle enthalten in der Regel Vereinfachungen und Idealisierungen, deren Status teilweise umstritten ist. So werden manche diese Annahmen als „unrealistisch“ diskutiert und es ist in der aktuellen wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Debatte umstritten, welche Aussagen mit Modellen begründet werden können, die solche Modellannahmen enthalten. Stehen diese im Widerspruch

zum Wissen über den Gegenstand, ist fraglich, ob es mit solchen Modellen überhaupt gelingt, Möglichkeitsaussagen im Sinne des vorangegangenen Abschnitts zu verifizieren. Denn wenn das Modell Annahmen enthält, die im Widerspruch zum Wissen über den modellierten Gegenstand stehen, scheint nicht einmal das Modell selbst möglich im zuvor eingeführten Sinne zu sein.<sup>69</sup>

- Szenarien von komplexen Systemen wie dem Energiesystem werden meist mit Computermodellen berechnet.
- Hierfür müssen Rahmenannahmen für alle exogenen Größen des Modells getroffen werden. Für jedes Szenario müssen diese Annahmen gemeinsam konsistent mit dem relevanten Wissen sein.
- Nur wenn das gilt und auch das Modell selbst konsistent mit dem Wissen ist, stellen die berechneten Szenarien mögliche Entwicklungen dar.

## 2.8 Möglichkeitsaussagen in einer Energieszenariostudie

Betrachten wir zur Illustration die Studie „Politiksznarien für den Klimaschutz VI“. Die Studie untersucht das Energiesystem Deutschlands und trifft insbesondere Aussagen über die zukünftige Entwicklung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen bis 2030 unter Berücksichtigung unterschiedlicher politischer Maßnahmen. Sie ist die Grundlage der regelmäßigen Berichterstattung Deutschlands im Rahmen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen

<sup>66</sup> Vgl. Koch et al. 2003, S. 69 ff. Gemeint sind hier stark exogenisierte Modelle, die ähnlich zur Modellierung aus prozesstechnischer Modellierung eingesetzt werden. Ein Beispiel ist etwa das kommerzielle Modell MESAP/Planet, das unter anderem zur Szenariobildung in der Studie Greenpeace et al. 2012 eingesetzt wurde.

<sup>67</sup> Mai et al. 2013, S. 20 ff.

<sup>68</sup> Vgl. Greeuw et al. 2000.

<sup>69</sup> Vgl. etwa Betz 2010, S. 96 ff. zur Diskussion dieser Frage für die Klimaforschung sowie Hausman 2013 und Sugden 2009 für ökonomische Modelle. Anmerkung: In der Regel wird versucht für ein Modell sogar etwas Stärkeres als nur seine Konsistenz mit dem Hintergrundwissen nachzuweisen: Wie in Abschnitt 2.8 beschrieben, wird durch seine Validierung versucht, nachzuweisen, dass das Modell die relevanten realen Wechselwirkungen (ausreichend) korrekt beschreibt.

(UNFCCC).<sup>70</sup> Für die vorliegende Betrachtung wird sie vor allem wegen ihrer relativ leicht verständlichen Struktur gewählt.

In der Studie werden als relevante Größen unter anderem der Rohölpreis und die Treibhausgasemissionen berücksichtigt, wobei erstgenannte eine exogene und zweitgenannte eine endogene Größe darstellt. Außerdem wird eine Reihe politischer Maßnahmen betrachtet, die sich wiederum in diesen Größen niederschlagen. Beispielsweise ist dies die Einführung von CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerten für neu zugelassene PKW.<sup>71</sup> In der Studie wird eine Vielzahl weiterer Größen zur Beschreibung des Energiesystems berücksichtigt, die zum Zwecke der Illustration im Folgenden jedoch vernachlässigt werden. Die in der Studie beschriebenen Szenarien sind also weitaus umfassender, als es die folgende Darstellung wiedergibt.

In der Studie werden zwei Szenarien betrachtet, die sich in den konkreten Ausprägungen einiger der betrachteten Größen unterscheiden. Das erste Szenario wird in der Studie als „Aktuelle-Politik-Szenario“ bezeichnet und beschreibt eine zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems, in der bereits beschlossene politische Maßnahmen umgesetzt werden. Das zweite Szenario, genannt „Energiewende-Szenario“, beschreibt eine Entwicklung, in der darüber hinausgehende Maßnahmen ergriffen werden.<sup>72</sup>

Nehmen wir nun also vereinfachend an, dass in dieser Studie das Energiesystem nur durch die Größen Rohölpreis, Treibhausgasemissionen sowie CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Neuzulassungen in Deutschland beschrieben wird, und auch nur die Rahmenannahmen für diese Größen relevant sind. Das (vereinfachte) „Aktuelle-Politik-Szenario“ trifft dann diese Aussage, wobei die geschweiften Klammern und auch die später verwendete Großschreibung lediglich der besseren Erkennbarkeit der logischen Struktur dienen:

### ***Es ist möglich, dass***

*{der Rohölpreis im Jahr 2015 den Wert 96, im Jahr 2020 den Wert 111 sowie im Jahr 2030 den Wert 126 \$/bbl annimmt<sup>73</sup>*

*UND die Emissionen der deutschen Neuwagenflotte im Jahr 2015 auf 141, im Jahr 2020 auf 102 und im Jahr 2030 auf 95 g CO<sub>2</sub>/km begrenzt werden<sup>74</sup>*

*UND die Treibhausgasemissionen im Jahr 2015 den Wert 899,0, im Jahr 2020 den Wert 820,9 sowie im Jahr 2030 den Wert 691,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent annehmen<sup>75</sup>.*

<sup>70</sup> UNFCCC 2000; Nissler 2011.

<sup>71</sup> Öko-Institut et al. 2013, S. 80. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der neu zugelassenen PKW stellen einen Grenzfall einer exogenen Größe dar: Zwar wird der konkrete Grenzwert in dieser Studie exogen vorgegeben, doch stellt er in der mathematischen Umsetzung des Modells die Einschränkung des Lösungsraums einer endogenen Größe dar – nämlich der Treibhausgasemissionen. Genauer gesagt setzen sich die Gesamttreibhausgasemissionen aus unterschiedlichen Summanden zusammen, etwa aus den Emissionen der Raumwärmeerzeugung oder der Stromproduktion. Einer dieser Summanden, eben die Treibhausgasemissionen der neu zugelassenen PKW, wird in seinem Lösungsraum durch den Grenzwert eingeschränkt.

<sup>72</sup> Ebd., S. I.

<sup>73</sup> Ebd., S. 10. Hier werden auch für die Jahre 2040 und 2050 Werte ausgewiesen, auf die hier jedoch verzichtet wird.

<sup>74</sup> Ebd., S. 80.

<sup>75</sup> Ebd., S. 225. Hier wird auch für das Jahr 2025 ein Wert ausgewiesen, auf den hier verzichtet wird.



Und ganz analog trifft das (vereinfachte) „Energiewende-Szenario“ diese Aussage:

***Es ist möglich, dass***

*{der Rohölpreis im Jahr 2015 den Wert 96, im Jahr 2020 den Wert 111 sowie im Jahr 2030 den Wert 126 \$/bbl annimmt<sup>76</sup>*

*UND die Emissionen der deutschen Neuwagenflotte im Jahr 2020 auf 95 und im Jahr 2030 auf 70 g CO<sub>2</sub>/km begrenzt werden<sup>77</sup>*

*UND die Treibhausgasemissionen im Jahr 2015 den Wert 849,5, im Jahr 2020 den Wert 723,7 sowie im Jahr 2030 den Wert 516,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent annehmen<sup>78</sup>.*

Nehmen wir weiter an, dass beide Szenarien in der Studie als gleichermaßen mögliche Entwicklungen angesehen werden und verknüpfen wir die Aussagen deshalb durch ein „und“. Ersetzen wir der Übersichtlichkeit halber außerdem die Teilsätze durch die Platzhalter a, b, c, d und e, so wird abstrakt formuliert in der Studie diese Aussage getroffen:

***Es ist möglich, dass***

*Es ist möglich, dass {a UND b UND c} (vereinfachtes „Aktuelle-Politik-Szenario“)*

***und es ist möglich, dass***

*{a UND d UND e} (vereinfachtes „Energiewende-Szenario“).*

Zunächst fällt auf, dass hier zwei Möglichkeitsaussagen durch ein oder mehrere (kleingeschriebene) „und“ miteinander verbunden werden. Dies drückt aus, dass beide Szenarien als alternative mögliche Entwicklungen angesehen werden. Jedes dieser Szenarien umfasst die Zustände

dreier Größen und diese sind nun wiederum durch (jetzt großgeschriebene) „UND“ verbunden. Die Angabe, dass diese Zustände möglich sind, bezieht sich nun jeweils auf die gesamte Zustandsbeschreibung des Systems, also auf das, was jeweils durch geschweifte Klammern markiert wurde. Dies ist zunächst nicht weiter verwunderlich, denn ein Szenario soll ja eine mögliche Entwicklung des gesamten betreffenden Systems beschreiben, also die Entwicklung aller Größen, mit denen dies beschrieben wird.

Hier wird eine wichtige Eigenschaft von Szenarien sichtbar: Ein Szenario allein sagt nicht mehr aus, als dass diese konkrete Kombination von Zuständen möglich ist. Daraus alleine folgt nichts für die Möglichkeit anderer Kombinationen. Weder werden diese dadurch ausgeschlossen, noch impliziert. Im Beispiel wird dies unmittelbar daraus ersichtlich, dass wir uns auch gut noch einen anderen Satz von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten für PKW vorstellen und annehmen können, für die das Modell dann andere Gesamttreibhausgasemissionen bestimmen würde – womit wir ein drittes Szenario vorliegen hätten.

Außerdem ist noch einmal zu beachten, dass wir die ursprüngliche Studie stark vereinfacht haben. In dieser wie auch in den meisten anderen Energieszenariostudien werden sehr viel mehr Größen zur Beschreibung des Systems verwendet. Bei der vollständigen Rekonstruktion einer solchen Studie müssten diese in den geschweiften Klammern ergänzt und durch weitere „und“ verbunden werden – vermutlich würden die resultierenden Aussagen mehrere Zeilen umfassen.

Was heißt es nun aber, wenn Szenarien wie die gezeigten mit einem Modell „berechnet“ werden? Betrachten wir zunächst die Berechnung eines einzelnen Szenarios, konkret des zuvor beschriebenen vereinfachten „Aktuelle-Politik-Szenarios“. Wie wir wissen, handelt es sich

<sup>76</sup> Ebd., S. 10.

<sup>77</sup> Ebd., S. 83. Der Umstand, dass hier kein Grenzwert für 2015 ausgewiesen wird, wird im Folgenden vernachlässigt.

<sup>78</sup> Ebd., S. 226.

beim Rohölpreis und auch bei der Festlegung der Grenzwerte für die PKW um exogene Größen, während die Gesamtreibhausgasemissionen endogen bestimmt werden. Dies ist aus den beiden Szenarien, wie wir sie bis jetzt analysiert und als Aussagen rekonstruiert haben, noch nicht ersichtlich. Denn dort werden exogene und endogene Größen gemeinsam als möglich klassifiziert. Dies spiegelt auch das Phänomen wider, dass aus realen Szenariostudien oft ebenfalls nicht auf den ersten Blick ersichtlich ist, welche numerischen Angaben zu einer endogenen und welche zu einer exogenen Größe gehören.

Um diesen Unterschied sichtbar zu machen, müssen wir vielmehr die Begründung der Szenarien betrachten. Diese lässt sich für das „Aktuelle-Politik-Szenario“ wie folgt aufschreiben, wobei hier der Übersichtlichkeit halber auf die zuvor verwendete abstrakte Schreibweise zurückgegriffen wird:

#### **Vereinfachtes**

##### **„Aktuelle-Politik-Szenario“:**

**Prämisse 1:** *Es ist möglich, dass {a UND b} (Rahmenannahmen)*

**Prämisse 2:** *Wenn {a UND b}, dann c (Modellannahmen)*

**Konklusion:** *Also: Es ist möglich, dass {a UND b UND c}*

Was wir hier vor uns haben, ist zunächst einmal die schematische Darstellung eines einfachen (modallogischen) Schlusses. Die ersten beiden Zeilen stellen jeweils eine Prämisse dar und die letzte Zeile die Konklusion. Die Konklusion besteht gerade im zuvor bereits eingeführten vereinfachten „Aktuelle-Politik-Szenario“. Entscheidend ist nun, wie die Begründung dieser Konklusion durch die voranstehenden Prämissen erfolgt.

Schauen wir uns zunächst Prämisse 1 des Schlusses an. Hier kommt zum Ausdruck, dass die Rahmenannahmen, also

die konkreten numerischen Werte, die für die exogenen Größen angenommen werden, als möglich angesehen werden. Um ihre Möglichkeit zu begründen, ist es wohlgemerkt nicht ausreichend, zu zeigen, dass jede Annahme für sich möglich ist. Vielmehr muss gezeigt werden, dass die Kombination dieser Annahmen möglich – also konsistent mit unserem Wissen – ist. Da diese Annahmen in das Modell hineingehen, muss dieser Nachweis außerhalb des Modells erfolgen. Und dies ist nicht trivial, denn hierbei müssen zusätzliche Wissensbestände hinzugezogen werden, die aus unterschiedlichen Disziplinen stammen können. In unserer vereinfachten Darstellung des „Aktuelle-Politik-Szenarios“ muss lediglich der Nachweis erbracht werden, dass die Annahmen für den Rohölpreis der Jahre 2015, 2020 und 2030 gemeinsam mit den Annahmen für Emissionsgrenzwerte der neu zugelassenen PKW möglich sind. Tatsächlich gehen in Energieszenarien jedoch eine Vielzahl von Rahmenannahmen ein. In unserer Beispielstudie „Politiksznarien für den Klimaschutz VI“ sind dies unter anderem auch Annahmen über die demografische Entwicklung,<sup>79</sup> die Preisentwicklung weiterer Brennstoffe,<sup>80</sup> die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes<sup>81</sup> und die Einführung einer ganzen Reihe klimapolitischer Maßnahmen.<sup>82</sup> All diese Annahmen müssen im jeweiligen Szenario gemeinsam möglich sein. Dabei ist offenkundig auch zu klären, in welcher Hinsicht diese Möglichkeit nachgewiesen werden soll, welche Art von Wissen also hinzuzuziehen ist. Beispielsweise könnte es das Ziel einer Analyse sein, mit einem ökonomischen Modell Szenarien zu entwickeln, die nicht nur in ökonomischer, sondern auch in politischer Hinsicht möglich sind. In diesem Fall müsste gezeigt werden, dass die Rahmenannahmen (und die Modellannah-

<sup>79</sup> Ebd., S. 6 f.

<sup>80</sup> Ebd., S. 11 ff.

<sup>81</sup> Ebd., S. 17 ff.

<sup>82</sup> Ebd., S. 21 ff.

men) nicht im Widerspruch zu unserem Wissen über die politischen Rahmenbedingungen stehen.<sup>83</sup>

In der Praxis werden die Werte für diese Annahmen jedoch aus unterschiedlichen Quellen zusammengezogen, ohne dass explizit ihre gemeinsame Möglichkeit nachgewiesen wird. Verwendet man ein stark exogenisiertes Modell, in dem also relativ wenige endogene Größen von relativ vielen exogenen abhängen, ist zwar das Modell selbst relativ einfach, der Nachweis der Möglichkeit der Rahmenannahmen kann sich jedoch als äußerst anspruchsvoll erweisen. Dies gilt insbesondere für die zuvor erwähnten Simulations- beziehungsweise Accounting-Modelle.

Prämisse 2 drückt gerade die im Modell repräsentierten Wechselwirkungen aus. Sinngemäß steht hier: „Wenn in der Realität die Werte eintreten, die wir für die exogenen Größen festgelegt haben, dann treten real auch die Werte ein, die das Modell für die endogenen Größen berechnet.“ Dies ist eine äußerst anspruchsvolle Prämisse, denn hier wird eine deterministische Aussage getroffen. Um sie zu erfüllen, muss das Modell die realen Wechselwirkungen in der Weise korrekt repräsentieren, dass seine Rechenergebnisse bei gegebenen Rahmenannahmen (in ausreichender Genauigkeit) mit realen Beobachtungen übereinstimmen. Der Nachweis, dass ein Modell dies erfüllt, wird „Validierung“ genannt. Eine gängige Praxis, um diese Übereinstimmung sicher zu stellen, ist etwa die ökonometrische Schätzung. Hierbei werden die Wechselwirkungen der betreffenden Größen

durch mathematische Funktionen repräsentiert und diese durch numerische Schätzverfahren an historische Daten angepasst. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass das betreffende Modell die historische Entwicklung des modellierten Systems (in ausreichender Genauigkeit) reproduzieren kann.<sup>84</sup> Zusätzlich muss angenommen werden, dass die realen Wechselwirkungen auch in Zukunft unverändert wirksam sind, sodass die geschätzten Funktionen des Modells auch die zukünftige Entwicklung beschreiben können.<sup>85</sup> Ob dies erfüllt ist, ist gerade dann fraglich, wenn ein Modell unrealistische Annahmen enthält. Die zuvor angesprochene wissenschafts- und erkenntnistheoretische Diskussion bezieht sich also gerade auf Prämisse 2.

Unter der Voraussetzung, dass diese erfüllt ist, kann dann im vorher gezeigten Argument aus den beiden Prämissen darauf geschlossen werden, dass es möglich ist, dass die endogenen Größen die vom Modell berechneten Werte annehmen.<sup>86</sup> Wie sich modallogisch zeigen lässt, dürfen wir dann auch darauf schließen, dass der zukünftige Zustand des gesamten betrachteten Systems, also exogene und endogene Größen zusammen, möglich ist und das Szenario also gemäß unserem Wissen eine mögliche Entwicklung beschreibt. Und genau dies steht in der Konklusion in der letzten Zeile des Arguments.

Wir sehen an diesem Beispiel zunächst einmal, wie Modell und Szenario ganz grundlegend zusammenhängen, und es wird nun deutlich, dass die Redeweise, ein Szenario mit einem Modell zu „berechnen“, etwas irreführend ist. Denn es wird ja nur ein Teil des Szenarios, nämlich die Werte der endogenen Größen mit ihm be-

<sup>83</sup> Ausführlich wird dieses Vorgehen von Weimer-Jehle et al. 2013 beschrieben. Zur Illustration könnte man etwa an einen Fall denken, in dem ein ökonomisches Modell zukünftige Entwicklungen berechnet, die zwar ökonomisch möglich sind, aber nur durch Maßnahmen realisiert werden können, die der Verfassung des jeweiligen Landes entgegenstehen. Man denke etwa an Enteignungen. Eine solche Entwicklung könnten wir dann als politisch (genauer verfassungsrechtlich) unmöglich ansehen.

<sup>84</sup> Vgl. Auer 2003, S. 2.

<sup>85</sup> Bei der Begründung von Prämisse 2 handelt es sich genauer gesagt also um einen induktiven Schluss.

<sup>86</sup> Damit dieser Schluss modallogisch gültig ist, muss die zweite Prämisse notwendig gelten.

rechnet und dementsprechend dem Modell selbst auch nur nachgewiesen, dass die Werte der endogenen Größen möglich sind.

Und noch etwas wird nun deutlich, denn wir sehen nun eine Variante, in der Szenarien einen wichtigen Bezug zu „Wenn-dann-Aussagen“ aufweisen: Solche konditionalen Aussagen tauchen nämlich mindestens an entscheidender Stelle bei der Begründung von Szenarien auf, zumindest dann, wenn ein Modell zur Begründung verwendet wird.

Eine zweite Variante besteht darin, dass auch die Konklusion als „Wenn-dann-Aussage“ formuliert wird. Dies kann sinnvoll sein, um auszudrücken, dass ein Szenario mit einer bestimmten Handlungsoption verbunden ist. Beispielsweise könnte dies im vereinfachten „Aktuelle-Politik-Szenario“ der Beispielstudie für die Einführung der Emissionsgrenzwerte zutreffen. Die Konklusion würde dann etwa lauten: „Es ist möglich, dass die Gesamtemissionen den berechneten Verlauf aufweisen, wenn die Emissionsgrenzwerte erreicht werden.“<sup>87</sup> Wichtig zu bemerken ist, dass in diesem Argument nun aber eine deutlich schwächere Konklusion begründet wird. Denn über die Möglichkeit und damit auch Unsicherheit des Eintretens der Annahmen im Wenn-Teil der Konklusion – hier also die Einführung der Emissionsgrenzwerte – wird nun nichts mehr ausgesagt, weshalb auch das Eintreten der Größen im Dann-Teil völlig ungewiss bleibt. Für die direkte Entscheidungsbegründung oder auch nur Orientierung über mögliche zukünftige Entwicklungen ist eine solche Aussage al-

lein also praktisch nutzlos. Dies ist dann unproblematisch, wenn der Adressat eines solchen Szenarios die Annahmen im Wenn-Teil selbst beurteilen kann, etwa weil er über spezifisches Wissen verfügt oder es gerade in seiner Macht steht, eine dort angenommene Maßnahme durchzusetzen. Wenn dies nicht gegeben ist – man denke etwa an den Rohölpreis, der von der Regierung Deutschlands vermutlich nicht beeinflusst werden kann –, darf diese Verschiebung in den Wenn-Teil jedoch nicht leichtfertig geschehen. Mindestens muss der Adressat darauf hingewiesen werden, dass die Konklusion von Annahmen abhängt, deren Unsicherheit nicht beurteilt wird, und damit diese Aussage allein wenig aussagekräftig ist. Geschieht dies nicht, besteht die Gefahr, dass die Beurteilung dieser Unsicherheiten „unter den Tisch fällt“ und ein solches Szenario in unzulässiger Weise in Entscheidungsprozessen weiter verwendet wird.<sup>88</sup>

Mithilfe dieser vorangegangenen Überlegungen könnten wir uns ganz analog auch die Begründung des zweiten Szenarios aus der Beispielstudie veranschaulichen. Wir würden dann sehen, dass die Begründung genauso funktioniert wie im ersten Szenario. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass in unserer vereinfachten Betrachtung eine Rahmenannahme für das zweite Szenario verändert wird. Dies sind die Grenzwerte für die PKW, die im Energiewende-Szenario noch ver-

87 Vereinfachtes „Aktuelle-Politik-Szenario“ mit konditionaler Konklusion unter Verwendung der zuvor eingeführten vereinfachten Schreibweise:  
Prämisse 1\*: Es ist möglich, dass {a} (Rahmenannahmen für die Entwicklung des Rohölpreises)  
Prämisse 2: Wenn {a UND b}, dann c (Modellannahmen)  
Konklusion\*: Also: Es ist möglich, dass {WENN b, DANN c} („Es ist möglich, dass wenn die Emissionsgrenzwerte erreicht werden, die Gesamtemissionen den berechneten Verlauf aufweisen“).

88 Vgl. Dieckhoff 2014. Außerdem ist zu betonen, dass im Falle einer konditionalen Konklusion selbst unter Vernachlässigung ihrer bloßen Möglichkeit die im Wenn-Teil beschriebene Annahme keine notwendige Bedingung für die im Dann-Teil beschriebene Entwicklung darstellt, sondern nur eine hinreichende. Im Beispiel bedeutet das, dass die Einhaltung der Emissionsgrenzen für PKW nur eine Maßnahme unter vielen weiteren denkbaren ist, mit der der berechnete Verlauf der Gesamtemissionen erreicht werden kann. Nur weil eine bestimmte Auswahl von Maßnahmen in einem Szenario betrachtet wird, heißt das nicht, dass dies auch diejenigen sind, die realisiert werden sollten. Da es sich bei der Konklusion jedoch in der Tat nur um eine Möglichkeitsaussage handelt, ist die Annahme im Wenn-Teil nicht einmal hinreichend für die Entwicklung im Dann-Teil. Im Beispiel ist die Entwicklung der Gesamtemissionen ja gerade auch von der Entwicklung der Rohölpreise abhängig, für die selbst nur eine Möglichkeitsaussage getroffen wird.

schärft werden. Dementsprechend verändern sich auch die vom Modell berechneten Werte der endogenen Größen – und damit wird insgesamt ein anderes Szenario begründet.<sup>89</sup>

- Wenn-dann-Aussagen sind meist Teil der Begründung von Szenarien, insbesondere indem sie die modellierten Wechselwirkungen erfassen.
- Auch die Schlussfolgerung eines Szenarios kann als Wenn-dann-Aussage formuliert werden, etwa wenn die Abhängigkeit einer zukünftigen Entwicklung von einer Maßnahme ausgedrückt werden soll. Dies darf jedoch nur geschehen, wenn der Adressat des Szenarios das Eintreten und damit die Unsicherheit des Wenn-Teils beurteilen kann.

---

<sup>89</sup> Begründung des (vereinfachten) „Energiewende-Szenarios“:

Prämisse: Es ist möglich, dass {a UND d}

Prämisse: Wenn {a UND d}, dann e

Konklusion: Also: Möglich, dass {a UND d UND e}.

### 3. Was darf man von Energieszenarien erwarten?

#### 3.1 Formulierung von neuen Möglichkeitshypothesen

Ein wichtiger Ursprung der Szenario-Methode liegt in den USA zur Zeit des Kalten Krieges, in der sie unter anderem als Methode dafür entwickelt wurde, bis dato unbekannte zukünftige Entwicklungen in der Auseinandersetzung der beiden Systeme Ost und West vorauszu-denken und Strategien für den Umgang mit Bedrohungen zu entwerfen. Wie Ghamari-Tabrizi 2005 im Detail schildert, waren es insbesondere die Arbeiten Herman Kahns – allen voran „On Thermonuclear War“<sup>90</sup> –, die sowohl das strategische Denken militärischer Entscheidungsträger als auch die gesamtgesellschaftliche Auseinandersetzung mit der Bedrohungslage der USA maßgeblich prägten. Herman Kahn erläutert vor diesem Hintergrund unter dem programmatischen Titel „Thinking about the Unthinkable“ einen Zweck von Szenarien besonders eindrücklich:

*„The scenario is an aid to the imagination. Thermonuclear wars are not only unpleasant events they are, fortunately, unexperienced events (...). Few are able to force themselves to persist in looking for novel possibilities in this area without aids for their imagination.“<sup>91</sup>*

Am drastischen Beispiel einer neuen Form der Kriegsführung kommt hier eine grundlegende Funktion der Formulierung von Szenarien zum Ausdruck, der wir bereits im vorangegangenen Kapi-

tel begegnet sind: Mit Szenarien können neue Möglichkeiten, genauer gesagt, neue Möglichkeitshypothesen artikuliert werden. Dabei ist dem methodischen Vorgehen im Prinzip keine Grenze gesetzt, dies kann von kreativen Schreibworkshops bis zur Verwendung von Computermodellen reichen – eine wesentliche Voraussetzung ist in jedem Fall Kreativität.<sup>92</sup> Da beim Formulieren einer Möglichkeitshypothese noch nicht nachgewiesen werden muss, dass sie konsistent mit dem relevanten Wissen ist, können hierbei insbesondere auch Modelle zum Einsatz kommen, die inkonsistent mit unserem Wissen sind, etwa weil sie unrealistische Annahmen enthalten.<sup>93</sup>

Ebenso sind die Einsatzbereiche einer hierauf ausgerichteten Szenariomethode vielfältig. Sie reichen von Szenarien im Umweltbereich<sup>94</sup> bis zur strategischen Unternehmensplanung.<sup>95</sup> Im Energiebereich, der durch starke Pfadabhängigkeiten und entsprechend hohe Kontinuität vieler Parameter gekennzeichnet ist, kommen sie eher selten vor. Sie gibt es aber, etwa wenn im Stil eines „was wäre, wenn ...“ nach den Folgen eines langzeitigen und großflächigen Blackout gefragt wird.<sup>96</sup>

Die kreative Formulierung von (neuen) Möglichkeitshypothesen ist eine wichtige Funktion von Szenarien. Bei Energieszenarien steht diese Funktion selten im Zentrum.

<sup>90</sup> Kahn 1960.

<sup>91</sup> Kahn 1962, S. 143. Hervorhebung der Autoren.

<sup>92</sup> Van Vliet et al. 2012.

<sup>93</sup> Betz 2010, S. 97 f.

<sup>94</sup> Vgl. Toth 2008.

<sup>95</sup> Vgl. van der Heijden 2005.

<sup>96</sup> Petermann et al. 2011.



### 3.2 Strategiebildung und interne Kommunikation

Als Pionier der Nutzung von Szenarien zur Strategiebildung und internen Kommunikation gilt die Royal Dutch Shell, die bereits Anfang der 1970er Jahre mit ihnen experimentierte.<sup>97</sup> Wie van der Heijden schildert, gewannen Szenarien in der Folgezeit zunehmend an Bedeutung für Shell und stellen heute ein wesentliches Element der Unternehmenskultur dar.<sup>98</sup> Er unterscheidet eine Reihe von Funktionen, die Szenarien dabei erfüllen. Eine davon ist die eines Führungswerkzeugs, indem Szenarien von den Führungskräften dazu verwendet werden, strategische Entscheidungen oder Überzeugungen im Unternehmen zu kommunizieren und durchzusetzen. Als Beispiel nennt er die Einführung eines Umweltbewusstseins Ende der 1980er Jahre, das als notwendige Bedingung für das weitere Überleben von Shell angesehen wurde. Eine zweite, damit verbundene Funktion besteht darin, das systematische Nachdenken über Unsicherheiten auf allen Führungsebenen einzuführen.<sup>99</sup> Insgesamt sind für van der Heijden Szenarien ein wichtiges Element der Unternehmensplanung, da mit ihrer Hilfe Vorstellungen und Überzeugungen aneinander ausgerichtet werden können.<sup>100</sup>

Sind Energieszenarien für Shell unter anderem ein Instrument der internen Strategiebildung und Kommunikation, stellen sie für eine Vielzahl von Organisationen eine externe Ressource für die Strategieentwicklung dar. Diese sind also Rezipienten existierender Energieszenarien – und damit der wesentliche Adressat des vorliegenden Textes.

Innerhalb von Organisationen können Szenarien zur Abstimmung von Strategien verwendet werden.

<sup>97</sup> Vgl. Bradfield et al. 2005.

<sup>98</sup> Van der Heijden 2005.

<sup>99</sup> Ebd., S. 8 f.

<sup>100</sup> Ebd., S. 48 ff.

### 3.3 Diskursive Funktion

Szenarien können wichtige kommunikative Funktionen in der demokratischen Verständigung von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft übernehmen, indem mit ihnen von unterschiedlichen Akteuren Vorstellungen über die Zukunft kommuniziert und damit überhaupt erst für eine Auseinandersetzung zugänglich gemacht werden. In ihnen können etwa neue Möglichkeitshypothesen in einer Debatte eingeführt, wiederum einer Prüfung hinsichtlich der Konsistenz mit dem relevanten Wissen zugänglich gemacht oder auch mögliche Entwicklungen normativ beurteilt werden. Szenarien können also als wertvolles Material für eine Auseinandersetzung dienen, in der die Gesellschaft sich eine Meinung über wünschenswerte oder nicht wünschenswerte Entwicklungen bildet – sie sind also Medium für die Aushandlung umstrittener Zukunft in pluralistischen Gesellschaften.<sup>101</sup> Ausreichend anschaulich und zugänglich gestaltet, können Szenarien hier sogar als Katalysatoren für Debatten über kritische Fragen dienen.

Dass Szenarien diese Funktion auch heute schon erfüllen, ist unstrittig. Gerade Energieszenarien werden in großer Zahl produziert und erfahren mindestens teilweise große mediale Aufmerksamkeit. Ob sie diese Funktion jedoch „gut“ erfüllen, ob durch sie also eine offene und argumentationsgeleitete Auseinandersetzung ermöglicht wird, wie sie etwa der Theorie deliberativer Demokratie<sup>102</sup> entsprechen würde, oder ob dies in der gegenwärtigen Praxis sogar teilweise beschränkt wird, ist eine offene Frage.

Im Energiebereich sprechen die Vielzahl und die Diversität der artikulierten Szenarien zunächst einmal für eine breite Debatte. Gegen die Offenheit

<sup>101</sup> Vgl. Brown et al. 2000.

<sup>102</sup> Vgl. Habermas 1992.

derselben spricht jedoch, dass in diesem Feld die Zivilgesellschaft bisher nur selten in die Erstellung der Szenarien einbezogen wird. Eine Ausnahme ist das Beteiligungsverfahren im Rahmen der Ausbauplanung der deutschen Stromnetze. Durch die öffentliche Konsultation des hierbei verwendeten Szenariorahmens<sup>103</sup> sind Betroffene immerhin in begrenztem Maße beteiligt.<sup>104</sup> Ein zweites Beispiel ist das Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen zur Entwicklung eines Klimaschutzplanes, in dem die Entwicklung von Szenarien über die explizite Einbeziehung einer Bandbreite unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteure erfolgt.<sup>105</sup>

Einer argumentationsbasierten und rationalen Diskussion sind auf Basis der gegenwärtigen Praxis der Erstellung und Kommunikation von Energieszenarien – von Ausnahmen abgesehen – häufig Grenzen gesetzt. Problematisch ist beispielsweise, dass gerade in Energieszenarien die „Metadaten“, das heißt die zugrunde liegenden Modell- und Rahmenannahmen und normativen Setzungen selten transparent gemacht werden. Vermutlich geschieht das meist nicht absichtlich, sondern es mangelt vielmehr an geeigneten Darstellungsweisen und Kommunikationsstrategien. Für Beteiligte der Debatte ist deshalb der Status der Szenarien nur schwer zu beurteilen. Dies führt beispielsweise dazu, dass Szenarien prognostisch fehlinterpretiert

und damit hinsichtlich der Verlässlichkeit des in ihnen enthaltenen Wissens überschätzt werden. Oder es führt auch dazu, dass sie umgekehrt unterschätzt werden, indem verifizierte Möglichkeiten als bloße Möglichkeitshypothesen im Sinne „es ist auch vorstellbar, dass ...“ aufgefasst werden.

### 3.4 Integrationsfunktion

Szenarien sollen unterschiedlichste Wissensbestände etwa in Form von Modellen, Daten, Annahmen zusammenführen. Im Falle von Energieszenarien kann dies beispielsweise geologisches Wissen über Vorräte fossiler Energieträger oder von seltenen Erden sein, ökonomisches Wissen über volkswirtschaftliche Zusammenhänge, technisch-naturwissenschaftliches Wissen über das Energiesystem und dessen Emissionen, in Form von Lernkurven verdichtete Erfahrungen über die Diffusion neuer Technologien, sozialwissenschaftliches Wissen über die Lebensstile und die Bereitschaft zu Veränderungen, Rahmendaten zur demografischen Entwicklung und vieles mehr.

Eine erste Integrationsfunktion von Szenarien besteht also darin, heterogene, aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen stammende Wissensbestände in Form von – dem Anspruch nach – konsistenten Zukunftsbildern zu integrieren. Da die unterschiedlichen Wissensbestände oft in unterschiedlichen wissenschaftlichen „Sprachen“ verfasst sind, ist dessen Gelingen jedoch keine Selbstverständlichkeit, sondern bedarf eines sorgfältigen interdisziplinären Austauschs.

Eine zweite, eng hiermit verbundene Integrationsfunktion besteht im Zusammenführen unterschiedlicher Akteure und ihrer Perspektiven, wobei insbesondere die Einbindung von Akteuren der Zivilgesellschaft in die Erstellungsprozesse von Szenarien zunehmend

- Szenarien können ein wichtiges Medium der gesellschaftlichen Aushandlung über gewünschte zukünftige Entwicklungen sein.
- Eine breite Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Erstellung von Szenarien und ihre transparente Darstellung sind wichtige Voraussetzungen hierfür.

<sup>103</sup> 50Hertz et al. 2013.

<sup>104</sup> Vgl. Weingart et al. 2013.

<sup>105</sup> MKULNV 2014.



wichtig wird. Da Energieszenarien typischerweise im Auftrag politischer Organisationen erstellt werden, findet zumindest die Perspektive der Politik bereits jetzt häufig Berücksichtigung. Wie zuvor beschrieben, wird in jüngerer Zeit aber auch versucht, gezielt die Perspektiven weiterer Stakeholder, insbesondere von Akteuren aus der Zivilgesellschaft, zu berücksichtigen.

Durch die Einbindung zivilgesellschaftlicher Akteure kann eine Reihe von Zielen verfolgt werden. Eines davon ist die Verbreiterung der Wissensbasis, ein anderes die Erhöhung der Akzeptabilität der Szenarien.<sup>106</sup> Mit der Integration dieser Akteure ist allerdings eine weitere Herausforderung verbunden, denn nun müssen nicht mehr nur die Kriterien guter interdisziplinärer Wissenschaft erfüllt werden, sondern zusätzlich muss sichergestellt werden, dass die Einbindung in einer dem Kontext angemessenen Weise geschieht. Dies mündet unter anderem in konkreten Anforderungen an die Gestaltung des Erstellungsprozesses, da etwa sichergestellt werden muss, dass Laien überhaupt die Möglichkeit haben, ihre Perspektive ungehindert einzubringen, und dass diese dann auch berücksichtigt wird.

Szenarien sind dann besonders wertvoll, wenn sie beide Integrationsfunktionen erfüllen, denn dann ermöglichen sie es, auf einer breiten Wissensbasis zu argumentieren, sektorale Betrachtungen zu überwinden, Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichsten Bereichen zu berücksichtigen sowie Zielkonflikte zu identifizieren.

Mit Szenarien können Wissensbestände aus unterschiedlichen Disziplinen und Überzeugungen unterschiedlicher Akteure integriert werden.

### 3.5 Nachweis der (Un-)Möglichkeit zukünftiger Entwicklungen

Es mag scheinen, als ob die oben betonte Eigenschaft von Szenarien, „mögliche“ zukünftige Entwicklungen zu beschreiben, praktisch nicht zur Entscheidungsorientierung genutzt werden könnte. Denn die bloße Möglichkeit zukünftiger Entwicklungen klingt nach einem zu schwachen Argument, um daraus belastbare Orientierung zu ziehen. Damit wäre der Verwendung von Szenarien jedoch Unrecht getan. Denn auch die Verifikation oder Falsifikation einzelner möglicher Entwicklungen kann ein wertvoller Erkenntnisgewinn für eine gesellschaftliche Debatte sein.

Erstens kann der Erweis der Möglichkeit „von etwas“ in Kontroversen durchaus einen zentralen Nerv treffen – wenn nämlich etwa in der öffentlichen, wissenschaftlichen und politischen Debatte genau diese Möglichkeit bestritten wird. Beispielsweise wurde in der Energiedebatte der letzten Jahrzehnte teilweise bestritten, dass ein Ausstieg aus der Kernenergie möglich sei – jedenfalls solange ein gewisser Wohlstand erhalten werden sollte. Mit Energieszenarien wurde umgekehrt immer wieder versucht, genau diese Möglichkeit zu zeigen. Beispielsweise zeigte 1980 der Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“ entgegen verbreiteten gegenteiligen Überzeugungen auf, dass eine funktionierende Volkswirtschaft auch ohne Kernenergie auskommen kann.<sup>107</sup> Auch aktuell wird in der Debatte zur Energiewende mit Szenarien operiert, die die Möglichkeit der Erreichung der Ziele der Energiewende zeigen und dadurch eine wichtige Funktion in der öffentlichen Debatte und auch in Entscheidungsprozessen haben. Beispielsweise wird in der Stellungnahme „100 % erneuerbare Stromversorgung bis 2050:

<sup>106</sup> Vgl. Pahl-Wostl 2008.

<sup>107</sup> Altenburg 2010, insb. S. 37 ff. und S. 207 ff.

klimaverträglich, sicher, bezahlbar“<sup>108</sup> die technisch-ökonomische Möglichkeit einer hundertprozentig regenerativen Stromversorgung Deutschlands diskutiert.

Zweitens bestehen Szenarien aus mehr als nur Aussagen, dass etwas möglich ist. Denn weil diese Möglichkeit begründet werden muss, sind in derartigen Szenarien auch Angaben zu finden, auf welche Weise und unter welchen Bedingungen – in Bezug auf welches Wissen also – diese Möglichkeiten tatsächlich eintreten können. In der zuvor analysierten Beispielstudie „Politiksznarien für den Klimaschutz VI“ war dies etwa die Einführung von Emissionsgrenzwerten für neuzugelassene PKW. Unsere vereinfachte Rekonstruktion kann damit auch so gelesen werden, dass es möglich ist, die jeweils berechnete Entwicklung der Gesamtemissionen in der Realität zu erreichen, wenn von der Politik bestimmte Grenzwerte für die Neuzulassungen eingeführt werden – und gleichzeitig auch eine bestimmte Entwicklung des Rohölpreises Realität wird. Dieser letzte Zusatz darf dabei nicht weggelassen werden, denn im vereinfachten Beispiel wurde ja eine Aussage über eine bestimmte Kombination von Rahmenannahmen getroffen. Wir wissen also im Beispiel nicht, ob die berechneten Gesamtemissionen auch bei anderen Rohölpreisen möglich wären. Szenarien können also konkrete Angaben darüber enthalten, durch welche Maßnahmen bestimmte mögliche Entwicklungen realisiert werden können. Es muss jedoch genau beachtet werden, an welche weiteren Bedingungen diese Aussagen gebunden sind.

Werden in Szenarioanalysen nur einzelne Szenarien betrachtet – und dies ist in der gegenwärtigen Praxis meistens der Fall –, so kann mit einer solchen Analyse nicht ausgeschlossen werden, dass es nicht andere Szenarien gibt, die

ebenfalls relevant und möglich sind. Auf Grundlage der Beispielstudie lässt sich also etwa nicht sagen, ob es nicht völlig andere Maßnahmen gibt, die ebenfalls zu den dort berechneten Gesamtemissionen führen können. Solange jedoch nicht gezeigt werden kann, dass in einer vergleichenden Szenarioanalyse die relevanten möglichen Entwicklungen berücksichtigt wurden, können keine weitergehenden Schlussfolgerungen aus den Szenarien gezogen werden. Insbesondere ist es dann nicht möglich, robuste Entwicklungen oder robuster Maßnahmen zu identifizieren (vgl. Abschnitt 3.7). Die Herausforderung besteht darin, dass einerseits eine vollständige Ausleuchtung der relevanten Möglichkeiten schwierig und in der Praxis der Erstellung von Energieszenarien derzeit zumindest unüblich ist. Andererseits existieren derzeit keine allgemein anerkannten Verfahren für die Begrenzung der relevanten Möglichkeiten auf eine handhabbare Zahl von Szenarien und Sensitivitätsrechnungen (vgl. Abschnitt 2.3). Vor diesem Hintergrund ist jedoch mindestens zu fordern, dass in Energieszenariostudien die Auswahl der Szenarien begründet wird und dass Sensitivitätsanalysen so breit wie möglich durchgeführt und auch dokumentiert werden. Dies erlaubt immerhin eine kritische Diskussion der betreffenden Studien und bietet mittelfristig Ansatzpunkte für die Entwicklung der genannten Verfahren und Kriterien.

Schon der Nachweis mit Szenarien, dass einzelne umstrittene Entwicklungen möglich oder unmöglich sind, ist eine wichtige Funktion für die gesellschaftliche Debatte.

<sup>108</sup> SRU 2010.

### 3.6 Effektbestimmung von Maßnahmen

Eine Variante einer vergleichenden Szenarioanalyse hat das Ziel, die realen Effekte bestimmter politischer oder anderer Maßnahmen zu betrachten. Wie von Dieckhoff für den Fall der Energieszenarien genauer analysiert wird, kommt hierbei eine spezifische Methodik zum Einsatz.<sup>109</sup> Im Kern wird dabei eine Differenzbetrachtung von zwei Energieszenarien vorgenommen, die nacheinander mit einem Modell berechnet werden. Der erste der beiden Rechenläufe wird meist Referenzlauf genannt. Zwischen den beiden Rechnungen werden bestimmte Annahmen für die exogenen Variablen verändert. Dieser Unterschied in den numerischen Annahmen wird als zu untersuchende Maßnahme und der Unterschied in den numerischen Ergebnissen wird als Effekt dieser Maßnahme interpretiert. Auf diese Weise wird versucht, den realen Effekt bestimmter Maßnahmen zu bestimmen. Auch wenn dieses Anliegen offenkundig von zentraler Bedeutung für die Entscheidungsunterstützung ist, sind mit diesem Vorgehen eine Reihe theoretischer Fragen verbunden. Insbesondere ist erkenntnistheoretisch unklar, welchen Status der Referenzlauf hat, relativ zum dem die Effekte bestimmt werden. Eine eindeutige Zuordnung der daraus resultierenden Differenz als Auswirkung der untersuchten Maßnahme würde die Annahme nahelegen, dass der Referenzlauf als deterministische Prognose verstanden wird, was nach der obigen Einführung dem Grundverständnis und dem erkenntnistheoretischen Stellenwert von Szenarien widersprechen würde. Würde auf der anderen Seite der Referenzlauf lediglich als Beschreibung einer möglichen Entwicklung – also als Szenario in obigem Sinne – angesehen werden, ist dieses Vorgehen mit den zuvor beschriebenen Herausforderungen verbunden: Um den Effekt der Maßnahmen als

ein robustes Ergebnis erhalten zu können, müssen umfassende Sensitivitätsanalysen für beide Rechenläufe durchgeführt werden. Diese erfolgt in der gegenwärtigen Praxis jedoch nur partiell, sodass die Aussagekraft dieser Art Szenarioanalyse im Einzelfall genau zu prüfen ist.<sup>110</sup> Diese Diagnose spricht nicht grundsätzlich gegen die Aussicht, Szenarien in diesem Sinne einsetzen zu können – sie macht jedoch auf einen weiteren Reflexionsbedarf aufmerksam, um den Erkenntnisgewinn dieses Vorgehens beurteilen zu können und Überinterpretationen zu vermeiden.

Durch den Vergleich von zwei Szenarien wird in manchen Analysen versucht, den Effekt einer bestimmten (politischen) Maßnahme zu bestimmen. Es ist klärungsbedürftig, unter welchen Voraussetzungen dies gut begründet gelingt.

### 3.7 Identifikation robuster Entwicklungen und Maßnahmen

Vielleicht das wichtigste und gleichzeitig anspruchsvollste Erkenntnisziel, das mit vergleichenden Szenarioanalysen angestrebt wird, ist die Identifikation von robusten Entwicklungen oder Maßnahmen. Gemeint sind Entwicklungen, die sich in allen relevanten möglichen Entwicklungen einstellen, beziehungsweise solche Maßnahmen, deren Einführung unter allen relevanten möglichen Entwicklungen sinnvoll ist. In beiden Fällen ist es also das Ziel, trotz Unsicherheiten zumindest in gewissen Grenzen verallgemeinerbare Aussagen über künftige Entwicklungen

<sup>110</sup> Eine weitere Herausforderung besteht im genauen Verständnis dessen, wie hier eine reale Maßnahme in numerische Annahmen für das Modell übersetzt wird. Auch zuvor wurden im vorliegenden Text ja bereits Maßnahmen als Bestandteile von Szenarien diskutiert, etwa in Form der Emissionsgrenzwerte für Neuzulassungen. In diesen Fällen wurde die Maßnahme jedoch direkt durch bestimmte numerische Annahmen in das Modell übersetzt. Hier nun wird eine Maßnahme durch eine Veränderung der Annahmen zweier Läufe beschrieben. Es ist nicht recht klar, in welchem Zusammenhang beide Varianten zueinander stehen.

<sup>109</sup> Vgl. Dieckhoff 2014.

zu treffen. Der wesentliche Unterschied beider Varianten besteht darin, dass mit robusten Entwicklungen solche gemeint sind, die nicht direkt vom Adressaten beeinflusst werden können, also zu den Rahmenbedingungen seiner Handlungen gehören, während mit robusten Maßnahmen gerade Handlungen gemeint sind, mit deren Hilfe der Adressat Einfluss auf den betreffenden Gegenstand nehmen kann.<sup>111</sup>

Das grundlegende Vorgehen bei der Identifikation robuster Entwicklungen besteht darin, (möglichst) alle relevanten Szenarien auf Gemeinsamkeiten hin zu untersuchen. Dies kann etwa durch umfangreiche Sensitivitätsanalysen erfolgen. Tritt eine Entwicklung in allen Szenarien auf, tritt sie mit relativ hoher Sicherheit auch ein, sodass ein Adressat einer solchen Aussage mit dieser Entwicklung rechnen sollte.

Unter der Identifikation robuster Maßnahmen kann einerseits der Nachweis verstanden werden, dass eine fragile Maßnahme in allen Szenarien, die sich aus der Unsicherheit der weiteren Rahmenannahmen ergeben, das gewünschte Ziel erreicht. Andererseits kann hierunter der Nachweis verstanden werden, dass es keine andere Maßnahme gibt, mit der ein bestimmtes Ziel in gleicher Weise erreicht werden kann. Diese Variante zielt also auf die Identifikation einer notwendigen Maßnahme bezüglich dieses Ziels ab.

In allen vergleichenden Szenarioanalysen mit dem Erkenntnisziel der Robustheit taucht wiederum die zuvor bereits mehrfach angesprochene Heraus-

forderung auf, dass vollständige Analysen komplexer und großer Möglichkeitsräume äußerst anspruchsvoll sind. Was in der Praxis der Erstellung von Energieszenarien derzeit gelingt, sind partielle Sensitivitätsanalysen. In diesen Fällen können robuste Entwicklungen und Maßnahmen also zunächst nur relativ zum gewählten Ausschnitt des betreffenden Möglichkeitsraumes identifiziert werden. Solange darüber hinaus nicht geklärt wird, welchen Status dieser Ausschnitt hat, ist jedoch nicht recht klar, inwiefern die Ergebnisse solcher Analysen zur Unterstützung von Entscheidungen verwendet werden können. Die entscheidende, bisher nicht beantwortete Frage lautet also wiederum, ob es Kriterien gibt, die eine Reduktion auf die für bestimmte Entscheidungs- und Orientierungskontexte relevanten Möglichkeiten begründbar machen. Anders ausgedrückt werden also Kriterien benötigt, die überhaupt klären, was hier mit Relevanz genau gemeint ist.

Der Versuch, robuste Entwicklungen oder Maßnahmen zu identifizieren, wird nicht nur in einzelnen Energieszenariostudien unternommen, sondern ist auch eines der Ziele, das häufig mit vergleichenden Analysen unterschiedlicher Energieszenariostudien – sogenannten Metaanalysen – verfolgt wird. In einer solchen Analyse werden die verschiedenen Szenarien der unterschiedlichen Studien gemeinsam betrachtet. Mit diesem Vorgehen ist die Hoffnung verbunden, den analysierten Möglichkeitsraum zu erweitern. Allerdings muss hierbei angenommen werden, dass die Möglichkeitsräume, die in den einzelnen Studien untersucht wurden, einander (zumindest partiell) ergänzen. Ob diese Annahme erfüllt ist, muss jedoch genau geprüft werden und dies ist gerade dann schwierig, wenn in den einzelnen Studien unterschiedliche Modelle verwendet werden. Es ist dann nicht offensichtlich, ob in den jeweiligen Studien überhaupt auf den gleichen Möglichkeitsraum Bezug genommen wird.

<sup>111</sup> Offenkundig hängt es vom Adressaten einer Analyse ab, welche Größen des betrachteten Gegenstandes von ihm durch Maßnahmen beeinflusst werden können. Zur Illustration mag diese vereinfachte Betrachtung dienen: Für Wirtschaftsunternehmen stellen energiepolitische Entscheidungen wie die Einführung von Emissionsgrenzwerten exogene Rahmenbedingungen dar (die Macht des Lobbyismus sei hier nicht näher betrachtet), während die Preise ihrer Produkte von ihnen selbst bestimmt werden. Für eine Regierung ist es dagegen gerade umgekehrt.

Ein Beispiel für eine solche Metaanalyse stellt die Untersuchung von Keles et al. dar. Auf Grundlage von vier Energieszenarien für den deutschen Energiemarkt, die aus vier unterschiedlichen Energieszenariostudien stammen, wird hier die Aussage getroffen, dass die Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch ein robustes Ergebnis ist – jedenfalls in Bezug auf die untersuchten Szenarien.<sup>112</sup> Da darüber hinaus jedoch völlig offenbleibt, inwiefern diese Erkenntnis über die untersuchten Szenarien hinaus von Bedeutung ist und etwa entscheidungsunterstützend sein kann, kommt diese Metaanalyse über die Beschreibung der untersuchten Szenarien nicht hinaus.

- Durch das Suchen von Gemeinsamkeiten mehrerer Szenarien wird versucht, robuste Entwicklungen zu identifizieren. Dies ist unter anderem ein Ziel von Metaanalysen von Energieszenarien.
- Dieses Vorgehen setzt voraus, dass alle relevanten Szenarien berücksichtigt werden. Da dies bei der Betrachtung von komplexen Systemen wie dem Energiesystem praktisch nicht möglich ist, werden Kriterien benötigt, um die Robustheit von Analysen zu beurteilen, die nur auf einem Ausschnitt der möglichen Entwicklungen basieren.

---

<sup>112</sup> Keles et al. 2011, S. 812, 823.

## 4. Fazit

Szenarien sind ein wichtiges und wertvolles Instrument zum Umgang mit unsicherem Wissen und der Auslotung von Entwicklungsmöglichkeiten. Gerade wenn die betrachteten Gegenstände komplex sind und Zeithorizonte von mehreren Jahrzehnten beachtet werden müssen, stellen sie oft das einzige Mittel der Orientierung dar. Sie bieten die Möglichkeit, das verfügbare Wissen über die unterschiedlichsten Aspekte komplexer Systeme und auch seine Grenzen darzustellen und zu kommunizieren. Gleichzeitig können sie ein Medium der Debatte über wichtige Zukunftsfragen sein. Das gilt sowohl für die Kommunikation innerhalb von Gruppen oder Organisationen als auch für den öffentlichen, gesamtgesellschaftlichen Diskurs. Je nach Methode erlauben sie dabei die Integration unterschiedlicher Wissensbestände und Überzeugungen unterschiedlicher Personen oder gesellschaftlicher Gruppen. Bei der (Um-) Gestaltung des Energiesystems hat man es mit einem solchen Gegenstand zu tun, sodass Energieszenarien hier eine grundlegende Ressource für die Unterstützung von Entscheidungen und zur Orientierung darstellen.

Energieszenarien sind anspruchsvolle Gebilde. Denn begründete Möglichkeitsaussagen sind keine beliebigen Aussagen. Vielmehr muss bei ihrer Begründung die Konsistenz mit dem verfügbaren und relevanten Wissen nachgewiesen werden. Und gerade wenn es, wie beim Energiesystem, um Aussagen über komplexe Systeme geht, und darüber hinaus nicht nur die Möglichkeit hinsichtlich einzelner spezifischer Perspektiven aufzeigt wird, sondern möglichst umfassendes Beratungswissen generiert werden soll,

stellt ihre Formulierung und Begründung eine interdisziplinäre Herausforderung dar. Computermodelle stellen hierbei oft ein unverzichtbares Werkzeug dar, auch wenn sie in Bezug auf die transparente Kommunikation ihres Stellenwerts neue Herausforderungen mit sich bringen.

Ein Bedarf besteht vor allem daran, die kaum überblickbare Zahl an Energieszenarien und Energiemodellen erfassbar und evaluierbar zu machen. Abstrakt beschrieben bedeutet dies, dass Verfahren für einen angemessenen Umgang mit dem mehrdimensionalen, komplexen und großen Möglichkeitsraum zu entwickeln sind, den die zukünftige Entwicklung des Energiesystems darstellt. Die Herausforderung besteht darin, auszuloten, unter welchen Bedingungen robuste Aussagen auch dann getroffen werden können, wenn Möglichkeitsräume nur unvollständig erfassbar sind. Wenn Energieszenarien hilfreiches Beratungswissen darstellen sollen, muss also ein Weg gefunden werden, der praktisch erfolgreich ist, dabei aber die Grenzen des verfügbaren Wissens immer offenlegt.

Dies darf keinesfalls bedeuten, dass auf den Einsatz und die Weiterentwicklung von Methoden zur systematischen Analyse von Möglichkeitsräumen verzichtet wird – selbst wenn sich zeigen sollte, dass prinzipiell nur partielle Analysen möglich sind. So trägt der derzeit lediglich partielle Einsatz von Sensitivitätsanalysen der Bedeutung dieses Vorgehens nicht ausreichend Rechnung.<sup>113</sup> Auch

<sup>113</sup> Hier scheint es nicht einmal so sehr an verfügbaren numerischen Methoden zu mangeln, als vielmehr an der finanziellen Förderung der Durchführung solcher Analysen auch in Beratungsprojekten.



breit angelegte Modellvergleichsrechnungen – wie sie heute in der Klimafor- schung eingesetzt werden und auch in der Vergangenheit schon für Energiemodelle durchgeführt wurden<sup>114</sup> – können einen wichtigen Baustein für die Weiterentwick- lung der etablierten Praxis darstellen.

Den Verfahren für die Auswahl von Szenarien beziehungsweise für die Eingrenzung von Möglichkeitsräumen kommt eine hohe Bedeutung zu. Diese müssen nicht nur wissenschaftlich valide sein. Werden Szenarioanalysen für au- ßerwissenschaftliche Adressaten durch- geführt, müssen sie auch den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Verwen- dungskontexte genügen. Energieszena- rien werden insbesondere mit dem Zweck veröffentlicht, politische Entscheidungs- träger zu beraten. Gerade hier stellt sich also die Anforderung, dass die Auswahl der analysierten Szenarien und insbeson- dere dabei getroffene normative Festle- gungen transparent gemacht werden.

Für Hersteller von Energieszena- rien lautet die Kernbotschaft dieses Bei- trags, dass ein allererster und für alles wei- tere notwendiger Schritt darin besteht, die Transparenz von Energieszenariostudien einschließlich der hierbei eingesetzten Modelle zu verbessern. Diese Anforderung muss auch von den Auftraggebern von Energieszenarien mitgetragen werden. Sie und die Instrumente der Forschungsför- derung müssen einen Anreiz zur Herstel- lung dieser Transparenz setzen. Für die Nutzer und Rezipienten von Energiesze- narien bleibt festzuhalten, dass Szenarien für die Analyse der Unsicherheiten, die über die zukünftige Entwicklung des Ener- giesystems bestehen, und beim Ausloten von Handlungsmöglichkeiten bei dessen Gestaltung weiterhin das Mittel der Wahl darstellen. Eine kritische Auseinanderset- zung mit der ständig anwachsenden Viel- falt von Energieszenarien ist aber unum-

gänglich. Indem wir aufgezeigt haben, wie Energieszenarien grundsätzlich verstan- den werden können, welche Schwächen sie haben, aber welche Möglichkeiten sie auch bieten, hoffen wir, diese Ausein- andersetzung zu unterstützen.

---

114 Vgl. Fußnote 5.

## Literatur

### 50Hertz et al. 2013

50Hertz Transmission GmbH/Amprion GmbH/TenneT TSO GmbH/TransnetBW GmbH: *Der Szenariorahmen – Grundlage für den Netzentwicklungsplan*, 2013. URL: <http://www.netzentwicklungsplan.de/content/der-szenariorahmen-%E2%80%93-grundlage-f%C3%BCr-den-netzentwicklungsplan> [Stand: 26.06.2013].

### acatech 2012

acatech (Hrsg.): *Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten* (acatech IMPULS), Heidelberg et al.: Springer 2012.

### Agentur für Erneuerbare Energien 2014

Agentur für Erneuerbare Energien: *Forschungsradar Erneuerbare Energien*, 2014. URL: <http://www.energiestudien.de> [Stand: 28.02.2014].

### Alcamo 2008

Alcamo, J.: „The SAS Approach: Combining Qualitative and Quantitative Knowledge in Environmental Scenarios“. In: Alcamo, J. (Hrsg.): *Environmental Futures. The Practice of Environmental Scenario Analysis*, Amsterdam et al.: Elsevier 2008, S. 123-150.

### Altenburg 2010

Altenburg, C.: *Kernenergie und Politikberatung. Die Vermessung einer Kontroverse*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2010.

### Auer 2003

Auer, L. von: *Ökonometrie. Eine Einführung*, Berlin et al.: Springer 2003.

### BET 2014

Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH (BET): *Methoden der Netzentwicklung. Methodischer und quantitativer Vorgehensvorschlag zur Weiterentwicklung der Planung des Übertragungsnetz-Ausbaus*. Im Auftrag der Agora Energiewende. Vorabfassung, 2014. URL: [http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Netzplanung/Agora\\_BET\\_Methoden\\_der\\_Netzentwicklung\\_Final\\_Vorabfassung.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Netzplanung/Agora_BET_Methoden_der_Netzentwicklung_Final_Vorabfassung.pdf) [Stand: 27.06.2014].

### Betz 2010

Betz, G.: „What's the Worst Case“. In: *Analyse & Kritik*, 32:1, 2010, S. 87-106.

### Betz 2012

Betz, G.: „Wie ist das Zwei-Grad-Ziel der internationalen Klimapolitik begründet?“. In: Keil, G./ Poscher, R. (Hrsg.): *Unschärfe Grenzen im Umwelt- und Technikrecht*, Baden-Baden: Nomos 2012, S. 143-150.

### Börjeson et al. 2006

Börjeson, L./Höjer, M./Dreborg, K.-H./Ekvall, T./Finnveden, G.: „Scenario Types and Techniques: Towards a User's Guide“. In: *Futures*, 38:7, 2006, S. 723-739.

### Bradfield et al. 2005

Bradfield, R./Wright, G./Burt, G./Cairns, G./van der Heijden, K.: „The Origins and Evolution of Scenario Techniques in Long Range Business Planning“. In: *Futures*, 37:8, 2005, S. 795-812.

### Brockhaus 2006

„Endogen“. In: Zwahr, A. (Hrsg.): *Brockhaus Enzyklopädie*. In 30 Bänden. 21., völlig neu bearb. Auflage, Leipzig et al.: F.A. Brockhaus 2006, S. 43.

### Brown et al. 2000

Brown, N./Rappert, B./Webster, A.: *Contested Futures. A Sociology of Prospective Techno-Science*, Aldershot et al.: Ashgate 2000.

### Brun/Hirsch Hadorn 2009

Brun, G./Hirsch Hadorn, G.: *Textanalyse in den Wissenschaften. Inhalte und Argumente analysieren und verstehen*, Zürich: vdf Hochschulverlag 2009.

### Deutsche Energie-Agentur 2014

Deutsche Energie-Agentur: *Studienlotse*, 2014. URL: <http://www.effiziente-energiesysteme.de/nc/studienstatistiken/studienlotse.html> [Stand: 28.02.2014].

### Deutscher Bundestag 2005

Deutscher Bundestag: *Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)* vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 des Gesetzes vom 4. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3746) geändert worden ist.

### Dieckhoff 2014

Dieckhoff, C.: *Modellierte Zukunft. Zur Theorie und Praxis von Energieszenarien im Kontext wissenschaftlicher Politikberatung* (angenommene Dissertation), Karlsruhe: Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie 2014.

### Droste-Franke et al. 2012

Droste-Franke, B./Paal, B. P./Rehtanz, C./Sauer, D. U./Schneider, J.-P./Schreurs, M./Ziesemer, T.: *Balancing Renewable Electricity. Energy Storage, Demand Side Management and Network Extension from an Interdisciplinary Perspective*, Heidelberg et al.: Springer 2012.



**ExxonMobil 2012**

Exxonmobil Central Europe Holding GmbH: Energieprognose 2012-2040. Deutschland. Schwerpunkt: Erdgas: Brücken- oder Basisenergie?, 2012. URL: [http://services.exxonmobil.de/downloads/Energieprognose\\_2012.pdf](http://services.exxonmobil.de/downloads/Energieprognose_2012.pdf) [Stand: 06.03.2014].

**Fischedick et al. 2012**

Fischedick, M./Förster, H./Friege, J./Healy, S./Lechtenböhm, S./Loreck, C./Matthes, F. C./Prantner, M./Samadi, S./Venjakob, J.: Power Sector Decarbonisation: Metastudy. Final Report for the SEFEP funded project 11-01, 2012. URL: <http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/metastudy-full.pdf> [Stand: 05.03.2014].

**Fisher et al. 2007**

Fisher, B.S./Nakicenovic, N./Alfsen, K./Corfee Morlot, J./de la Chesnaye, F./Hourcade, J.-C./Jiang, K./Kainuma, M./La Rovere, E./Matysek, A./Rana, A./Riahi, K./Richels, R./Rose, S./van Vuuren, D./Warren, R.: „Issues related to mitigation in the long term context“. In: Metz, B./Davidson, O.R./Bosch, P.R./Dave, R./Meyer, L.A. (Hrsg.): *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press 2007, S. 169-250.

**FORUM 2007**

Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (Hrsg.): *Energiemodelle zu Innovation und moderner Energietechnik. Analyse exogenen und endogenen technischen Fortschritts in der Energiewirtschaft*, Münster: LIT 2007.

**Ghamari-Tabrizi 2005**

Ghamari-Tabrizi, S.: *The Worlds of Herman Kahn. The Intuitive Science of Thermonuclear War*, Cambridge et al.: Harvard Univ. Press 2005.

**Greenpeace et al. 2012**

Greenpeace/European Renewable Energy Council (EREC)/Global Wind Energy Council (GWEC)/Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Energy [R] evolution. A Sustainable World Energy Outlook, 2012. URL: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2012/Energy%20Revolution%202012/ER2012.pdf> [Stand: 05.11.2013].

**Greeuw et al. 2000**

Greeuw, S. C./van Asselt, M. B. A./Grosskurth, J./Storms, C. A./Rijkens-Klomp, N./Rothman, D. S./Rotmans, J.: Cloudy Crystal Balls. An Assessment of Recent European and Global Scenario Studies and Models, 2000 (Environmental Issues Series). URL: [http://www.pik-potsdam.de/avec/peyresq2003/talks/0918/leemans/background\\_literature/eea\\_env\\_issue\\_report.pdf](http://www.pik-potsdam.de/avec/peyresq2003/talks/0918/leemans/background_literature/eea_env_issue_report.pdf) [Stand: 05.03.2014].

**Grunwald 2011**

Grunwald, A.: „Energy Futures: Diversity and the Need for Assessment“. In: *Futures*, 43:8, 2011, S. 820-830.

**Habermas 1992**

Habermas, J.: „Drei normative Modelle der Demokratie“. In: Münkler, H. (Hrsg.): *Die Chancen der Freiheit. Grundprobleme der Demokratie*, München: Piper 1992, S. 11-24.

**Hausman 2013**

Hausman, D. M.: „Philosophy of Economics“. In: Zalta, E. N. (Hrsg.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition 2013.

**IEA 2013**

International Energy Agency (IEA): *World Energy Outlook 2013*, Paris: International Energy Agency 2013.

**IER/RWI/ZEW 2010**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)/Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI)/Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW): Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, 2010. URL: [http://en.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB\\_Energieprognose-2009.pdf](http://en.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/PB_Energieprognose-2009.pdf) [Stand: 05.11.2013].

**IPCC 2012**

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, [Edenhofer, Ottmar; Pichs-Madruga, Rafael; Sokona, Youba; Seyboth, Kristin; Matschoss, Patrick; Kadner, Susanne; Zwickel, Timm; Eickemeier, Patrick; Hansen, Gerrit; Schlömer, Steffen; Stechow, Christoph von (Hrsg.)], United Kingdom et al.: Cambridge University Press 2012.

**Kahn 1960**

Kahn, H.: *On Thermonuclear War*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press 1960.

**Kahn 1962**

Kahn, H.: *Thinking about the Unthinkable*, New York: Horizon Press 1962.

**Keles et al. 2011**

Keles, D./Möst, D./Fichtner, W.: „The Development of the German Energy Market until 2030 – A Critical Survey of Selected Scenarios“. In: *Energy Policy*, 39, 2011, S. 812-825.

**Knight 1921**

Knight, F. H.: *Risk, Uncertainty, and Profit*, Boston: Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Co. 1921.

**Koch et al. 2003**

Koch, M./Harnisch, J./Blok, K.: Systematische Analyse der Eigenschaften von Energiemodellen im Hinblick auf ihre Eignung für möglichst praktische Politik-Beratung zur Fortentwicklung der Klimaschutzstrategie. Forschungsbericht 299 97 311 UBA-FB 000440, 2003. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2271.pdf> [Stand: 05.11.2013].

**Kosow/Gaßner 2008**

Kosow, H./Gaßner, R.: Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse. Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien, 2008 (IZT Werkstattbericht). URL: [https://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT\\_WB103.pdf](https://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_WB103.pdf) [Stand: 06.11.2013].

**Krey/Clarke 2011**

Krey, V./Clarke, L.: „Role of Renewable Energy in Climate Mitigation: A Synthesis of Recent Scenarios“. In: *Climate Policy*, 11, 2011, S. 1-28.

**Kronenberg et al. 2011**

Kronenberg, T./Martinsen, D./Pesch, T./Sander, M./Fischer, W./Hake, J.-F./Markewitz, P./Kuckshinrichs, W.: Energieszenarien für Deutschland: Stand der Literatur und methodische Auswertung, 2011 (STE Research Report). URL: [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/report\\_13\\_2011.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/report_13_2011.pdf?__blob=publicationFile) [Stand: 06.11.2013].

**Levi 1980**

Levi, I.: *The Enterprise of Knowledge. An Essay on Knowledge, Credal Probability, and Chance*, Cambridge et al.: MIT Press 1980.

**Linßen et al. 2006**

Linßen, J./Markewitz, P./Martinsen, D./Walbeck, M.: Zukünftige Energieversorgung unter den Randbedingungen einer großtechnischen CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens FKZ 0326889, 2006 (STE Arbeitsbericht). URL: [http://www.cooretec.de/lw\\_resource/datapool/Neuigkeiten/Abschlussbericht.pdf](http://www.cooretec.de/lw_resource/datapool/Neuigkeiten/Abschlussbericht.pdf) [Stand: 05.11.2013].

**Mai et al. 2013**

Mai, T./Logan, J./Nate, B./Sullivan, P./Bazilian, M.: *Re-Assume. A Decision Maker's Guide to Evaluating Energy Scenarios, Modeling, and Assumptions* 2013. URL: [http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2013/07/RE-ASSUME\\_IEA-RETD\\_2013.pdf](http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2013/07/RE-ASSUME_IEA-RETD_2013.pdf) [Stand: 21.02.2014].

**Meadows et al. 1972**

Meadows, D./Meadows, D./Zahn, E./Milling, P.: *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*, 13. Auflage, Stuttgart: Dt. Verl.-Anst. 1972.

**MKULNV 2014**

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV): Klimaschutz in Nordrhein-Westfalen. Akzeptanz durch Dialog und Beteiligung. Informationen zum Verfahren des Klimaschutzplans für NRW und zur Klimaschutzpolitik der Landesregierung, 2014. URL: [http://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Sonstiges/mkulnv\\_flyer\\_klimaschutzplan.pdf](http://www.klimaschutz.nrw.de/fileadmin/Dateien/Download-Dokumente/Sonstiges/mkulnv_flyer_klimaschutzplan.pdf) [Stand: 24.02.2014].

**Nakićenović/Swart 2000**

Nakićenović, N./Swart, R. (Hrsg.): *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge et al.: Cambridge University Press 2000.

**Nakićenović et al. 2006**

Nakićenović, N./Kolp, P./Riahi, K./Kainuma, M./Hanauka, T.: *Assessment of emissions scenarios revisited*. Environmental Economics and Policy Studies, 7(3), 2006, S. 137-173.

**Nissler 2011**

Nissler, D.: „Energieszenarien im Umweltbundesamt“. In: Dieckhoff, C./Fichtner, W./Grunwald, A./Meyer, S./Nast, M./Nierling, L./Renn, O./Voß, A./Wietschel, M. (Hrsg.): *Energieszenarien. Konstruktion, Bewertung und Wirkung – „Anbieter“ und „Nachfrager“ im Dialog*, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2011, S. 105-119.

**Öko-Institut et al. 2013**

Öko-Institut/Forschungszentrum Jülich, Systemforschung und Technologische Entwicklung (FZJ-STE)/Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)/Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI): Politiksznarien für den Klimaschutz VI. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030, 2013 (Climate Change). URL: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4412.pdf> [Stand: 20.02.2014].

**Pahle et al. 2012**

Pahle, M./Knopf, B./Tietjen, O./Schmid, E.: Kosten des Ausbaus erneuerbarer Energien: Eine Metaanalyse von Szenarien, 2012. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4351.pdf> [Stand: 05.03.2014].

**Pahl-Wostl 2008**

Pahl-Wostl, C.: „Participation in Building Environmental Scenarios“. In: Alcamo, J. (Hrsg.): *Environmental Futures. The Practice of Environmental Scenario Analysis*, Amsterdam et al.: Elsevier 2008, S. 105-122.

**Petermann et al. 2011**

Petermann, T./Bradke, H./Lüllmann, A./Poetzsch, M./Riehm, U.: *Was bei einem Blackout geschieht. Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls*, Berlin: Ed. Sigma 2011.

**Schippl/Grunwald 2013**

Schippl, J./Grunwald, A.: „Energiewende 2.0 – vom technischen zum soziotechnischen System? – Einführung in den Schwerpunkt“. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 22:2, 2013, S. 4-10.

**SRU 2010**

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): 100 % erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar, 2010 (Stellungnahme). URL: [http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2010\\_05\\_Stellung\\_15\\_erneuerbareStromversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2010_05_Stellung_15_erneuerbareStromversorgung.pdf?__blob=publicationFile) [Stand: 05.11.2013].

**Sugden 2009**

Sugden, R.: „Credible Worlds, Capacities and Mechanisms“. In: *Erkenntnis*, 70, 2009, S. 3-27.

**Toth 2003**

Toth, F. L.: „Climate Policy in the Light of Climate Science: The ICLIPS Project“. In: *Climate Change*, 56, 2003, S. 7-36.

**Toth 2008**

Toth, F. L.: „Dealing with Surprises in Environmental Scenarios“. In: Alcamo, J. (Hrsg.): *Environmental Futures. The Practice of Environmental Scenario Analysis*, Amsterdam et al.: Elsevier 2008, S. 169-193.

**UNFCCC 2000**

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Review of the implementation of commitments and of the other provisions of the convention. United nations framework convention on climate change guidelines on reporting and review. In: Conference of the parties, Fifth Session, Bonn, 25 October – 5 November 1999, 2000. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/cop5/07.pdf> [Stand: 20.02.2014].

**Van der Heijden 2005**

Van der Heijden, K.: *Scenarios: The Art of Strategic Conversation*, 2. Auflage, Chichester et al.: John Wiley and Sons 2005.

**Van Notten et al. 2003**

Van Notten, P. W. F./Rotmans, J./van Asselt, M. B. A./Rothman, D. S.: „An Updated Scenario Typology“. In: *Futures*, 35:5, 2003, S. 423-443.

**Van Vliet et al. 2012**

Van Vliet, M./Kok, K./Veldkamp, A./Sarkki, S.: „Structure in Creativity: An Exploratory Study to Analyse the Effects of Structuring Tools on Scenario Workshop Results“. In: *Futures*, 44:8, 2012, S. 746-760.

**Voigt 2013**

Voigt, C.: *Reichen drei Szenarien? Eine wissenschaftstheoretische Kritik des Netzentwicklungsplans* (unveröffentlichtes Manuskript), Karlsruhe 2013.

**WBGU 1995**

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): *Szenario zur Ableitung globaler CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien. Stellungnahme zur ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin; beschlossen auf der 26. Sitzung des Beirats am 17. Februar 1995 in Dortmund*, Bremerhaven: WBGU Geschäftsstelle am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung 1995.

**WBGU 2003**

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): *Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit*, Berlin et al.: Springer 2003.

**Weimer-Jehle et al. 2013**

Weimer-Jehle, W./Prehofer, S./Vögele, S.: „Kontextszenarien“. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 22:2, 2013, S. 27-36.

**Weingart et al. 2013**

Weingart, E./Peters, W./Müller-Pfannenstiel, K.: „Bürgerbeteiligung in den Planungsverfahren zum Höchstspannungsnetzausbau nach EnWG und NABEG“. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 63:5, 2013.

## Über das Akademienprojekt

Mit der Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ geben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Impulse für eine faktenbasierte Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Acht Arbeitsgruppen (AGs) bündeln fachliche Kompetenzen und identifizieren relevante Problemstellungen. Interdisziplinär zusammengesetzte Ad-hoc-Gruppen erarbeiten Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energiewende.

Auf Basis folgender Grundsätze stellt das Akademienprojekt System- und Orientierungswissen für Entscheidungen im Rahmen des Gemeinschaftswerks Energiewende bereit:

### Die Energieversorgung unseres Landes ist ein komplexes System

Rohstoffe und Ressourcen, Technologien, Ökonomie, Gesellschaft und Recht: Im Energiesystem gibt es vielfältige, sektorübergreifende Wechselwirkungen. Werden sie nicht ausreichend berücksichtigt, können punktuelle Eingriffe paradoxe und unbeabsichtigte Folgen haben. Ein umsichtiger Umbau der Energieversorgung braucht daher Systemverständnis. Dieses muss gemeinschaftlich und mit höchstem wissenschaftlichem Anspruch erarbeitet werden. Den Masterplan für die Energiewende kann es jedoch nicht geben. Die Energiewende bedeutet nämlich die stetige Transformation des Energiesystems in all seiner Dynamik.

### Der Sinn der Energiewende ist Nachhaltigkeit

Daher müssen wir uns darauf verständigen, welche Kriterien für eine nachhaltige Energieversorgung gelten sollen und wie Fortschritte in Richtung Nachhaltigkeit gemessen werden können. Im Energiekonzept der Bundesregierung bilden Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit das Zieldreieck einer nachhaltigen Energieversorgung. Sozialverträglichkeit und Gerechtigkeit müssen angemessen berücksichtigt werden. Um festzustellen, ob diese Ziele gleichwertig oder unterschiedlich zu gewichten sind, braucht das Land eine Wertediskussion und gute Verfahren für den Umgang mit Wertekonflikten.

### Wissenschaft erarbeitet Gestaltungsoptionen

Auf Basis wissenschaftlich fundierter Gestaltungsoptionen können Akteure aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft sachlich begründete, ethisch verantwortbare und politisch umsetzbare Entscheidungen treffen. Im Unterschied zu Handlungsempfehlungen, die einen bestimmten Vorschlag in den Mittelpunkt rücken, beschreiben Optionen, mit welchen Konsequenzen zu rechnen ist, wenn man sich für das eine oder andere Vorgehen entscheidet. So kann Wissenschaft aufzeigen, welche Vor- und Nachteile nach dem besten Stand des Wissens mit jeder Lösung verbunden sind. Der Umgang mit Zielkonflikten und der immer verbleibenden Unsicherheit im Entscheidungsprozess aber ist eine politische Aufgabe, die im Dialog mit den gesellschaftlichen Gruppen zu bewältigen ist.

## Mitwirkende des Projekts

### Arbeitsgruppen des Projekts

AG Ausgangssituation	AG Recht	AG Technologien
AG Gesellschaft	AG Ressourcen	AG Umsetzungsoptionen
AG Ökonomie	AG Szenarien	

### Arbeitsgruppe Szenarien

Die vorliegende Analyse wurde von der AG Szenarien erarbeitet.

Prof. Dr. Armin Grunwald (AG-Leiter)	Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Hans-Jürgen Appelrath	Universität Oldenburg
Christian Dieckhoff (Wissenschaftlicher Referent)	Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Manfred Fischedick	Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Prof. Dr. Felix Höffler	Universität zu Köln
Dr. Christoph Mayer	OFFIS – Institut für Informatik
Dr. Wolfgang Weimer-Jehle	Universität Stuttgart

## Institutionen und Gremien

### Beteiligte Institutionen

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (federführend)

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

### Steuerkreis

Der Steuerkreis koordiniert die Arbeit in acht interdisziplinären, thematischen Arbeitsgruppen.

Prof. Dr. Robert Schlögl (Vorsitzender)	Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion
Prof. Dr. Peter Elsner	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
Prof. Dr. Armin Grunwald	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. Peter Herzig	Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Prof. Dr. Ortwin Renn	Universität Stuttgart, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
Prof. Dr. Ferdi Schüth	Max-Planck-Institut für Kohlenforschung
em. Prof. Dr. Rüdiger Wolfrum	Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, Heidelberg
Prof. Dr. Eberhard Umbach	Karlsruher Institut für Technologie

## Kuratorium

Das Kuratorium verantwortet die strategische Ausrichtung der Projektarbeit.

Prof. Dr. Reinhard Hüttl (Vorsitzender)	acatech Präsident
Prof. Dr. Jörg Hacker	Präsident Leopoldina
Prof. Dr. Günter Stock	Präsident Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Präsident Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
Prof. Dr. Bärbel Friedrich	Vizepräsidentin Leopoldina
Prof. Dr. Hanns Hatt	Präsident Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste
Prof. Dr. Jürgen Gausemeier	Mitglied acatech Präsidium
Prof. Dr. Andreas Löschel	Leiter Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung und Vorsitzender der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“
Prof. Dr. Klaus Töpfer	Exekutivdirektor Institute for Advanced Sustainability Studies
Dr. Georg Schütte (Gast)	Staatssekretär Bundesministerium für Bildung und Forschung
Rainer Baake (Gast)	Staatssekretär Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Dr. Ingrid Wünning Tschol (Gast)	Bereichsdirektorin „Gesundheit und Wissenschaft“ Robert-Bosch-Stiftung

## Projektkoordination

Dr. Ulrich Glotzbach      Leiter der Koordinierungsstelle, acatech

## Rahmendaten

### Projektlaufzeit

04/2013 bis 02/2016

### Finanzierung

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen EDZ 2013) und der Robert-Bosch-Stiftung gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Robert Bosch **Stiftung**





### Koordinierungsstelle:

Dr. Ulrich Glotzbach  
Leiter der Koordinierungsstelle Energiesysteme der Zukunft  
Unter den Linden 14, 10117 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 206 3096 14  
E-Mail: [glotzbach@acatech.de](mailto:glotzbach@acatech.de)

**Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft**

ISBN: 978-3-9817048-1-5